TESIS DOCTORAL

UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Optimización de la preparación físico-militar, control de la carga de entrenamiento y evaluación del rendimiento en las Fuerzas Armadas españolas

Autor:

D. Beltrán Cáceres Diego

Directores:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Dr. D. Cristian Marín Pagán

Murcia, septiembre de 2025

TESIS DOCTORAL

UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Optimización de la preparación físico-militar, control de la carga de entrenamiento y evaluación del rendimiento en las Fuerzas Armadas españolas

Autor:

D. Beltrán Cáceres Diego

Directores:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

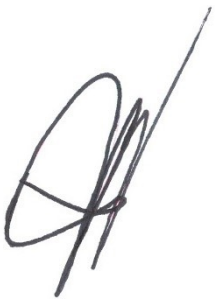
Dr. D. Cristian Marín Pagán

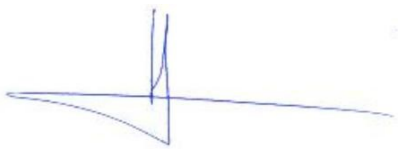
Murcia, septiembre de 2025

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS
PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón y el Dr. D. Cristian Marín Pagán como Directores de la Tesis Doctoral titulada "Optimización de la preparación físico-militar, control de la carga de entrenamiento y evaluación del rendimiento en las Fuerzas Armadas españolas" realizada por D. Beltrán Cáceres Diego en el Programa de Doctorado de Ciencias del Deporte, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011 de 28 de enero, en Murcia a 30 de septiembre de 2025.





Fdo.: Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Fdo.: Dr. D. Cristian Marín Pagán

RESUMEN

Introducción: A lo largo de la historia, el soldado ha sido una figura prominente con una labor fundamental en la defensa, conquista y preservación del orden. En el contexto contemporáneo, su preparación integral resulta esencial para llevar a cabo operaciones militares con eficacia en escenarios cada vez más complejos y exigentes. Esta formación garantiza el desarrollo de un amplio espectro de componentes de aptitud física que permite al militar asegurar un rendimiento operativo óptimo en el cumplimiento de la misión. No obstante, el ámbito militar presenta importantes limitaciones y dificultades para diseñar programas de entrenamiento que respondan adecuadamente a las demandas de los conflictos contemporáneos. A esto se suma el desafío de controlar las variables del entrenamiento, con el fin de evitar desequilibrios entre la carga y la recuperación, los cuales podrían inducir efectos adversos y comprometer el rendimiento físico-operativo. **Objetivo:** El objetivo principal de este proyecto es analizar las demandas físicas y fisiológicas de las pruebas militares más representativas y evaluar la monitorización de la fatiga en relación con la carga de entrenamiento en un entorno operativo, con la finalidad de fundamentar estrategias más eficaces, específicas y controladas que permitan optimizar la preparación físico-militar, minimizando el riesgo de fatiga, sobreentrenamiento y lesión. **Método:** Para poder responder a los problemas planteados en la presente Tesis Doctoral, se llevaron a cabo tres estudios. Estudio 1: Se evaluó a 26 militares que realizaron una marcha militar de 30 km con sobrecarga de 34 kg de equipamiento logístico de combate. Estudio 2: Se examinó a 29 militares que realizaron una carrera contrarreloj de 5 km con su equipo logístico de combate de 24 kg. En ambos estudios, se realizaron evaluaciones antes, inmediatamente después, a las 24 y a las 48 h de la prueba, observando los efectos agudos y residuales sobre la fatiga y el rendimiento neuromuscular, así como la trayectoria de recuperación. Las siguientes pruebas de rendimiento se realizaron en el orden predeterminado: lactato sanguíneo (BL) (estudio 2), salto con contramovimiento (CMJ), tirón isométrico a mitad del muslo (IMTP), fuerza de prensión manual de la mano dominante (DHGS) y no dominante (NDHGS), escala de valoración de fatiga (ROF), además de las máximas dominadas en 2 minutos (PLUmax) y la cumplimentación de informes de incidencias y percepción de esfuerzo (IRPE). Estudio 3: Se llevó a cabo una monitorización para evaluar la fatiga neuromuscular y psicológica acumulada y la asimilación de la carga de entrenamiento en 27 militares durante un período de 13 semanas. Cada tres semanas se administraron las siguientes pruebas en el orden: CMJ, IMTP, DHGS, NDHGS, PLUmax, máximo número de flexiones de brazos (PUmax) en 2 minutos y lanzamiento de balón medicinal (MBT) de 4.5 kg. Además de semanalmente (cada domingo) los cuestionarios POMS y RESTQ-Sport para evaluar la fatiga psicológica en relación con la carga de entrenamiento. **Resultados:**

En el estudio 1, se produjo una disminución significativa de las variables IMTP ($p = 0.004$), altura máxima de salto vertical (VJ) CMJ ($p \leq 0.001$), PLUmax ($p \leq 0.001$) y BM ($p \leq 0.001$), así como un aumento significativo en ROF ($p \leq 0.001$) e IRPE ($p \leq 0.001$), sin registrarse cambios importantes en DHGS ($p = 0.180$) y en NDHGS ($p = 0.616$). La prueba provocó una fatiga significativa en los militares, quienes no recuperaron su fuerza absoluta global ni la potencia máxima de las extremidades inferiores en un plazo de 48 horas, a pesar de una disminución sustancial en la percepción de fatiga. En el estudio 2, las variables IMTP ($p = 0.001$) y VJ CMJ ($p \leq 0.001$) aumentaron al finalizar la prueba, presentando una disminución significativa después. La PLUmax ($p \leq 0.001$) y BM ($p \leq 0.001$) disminuyeron significativamente, mientras que las variables ROF ($p \leq 0.001$), BL ($p \leq 0.001$) e IRPE ($p \leq 0.001$) aumentaron en gran medida tras la prueba. Al finalizar la prueba, se observó inicialmente un aumento de la fuerza isométrica absoluta global y de la potencia del tren inferior, seguido por una fatiga neuromuscular significativa, sin evidencias de una recuperación completa tras 48 h. En el estudio 3, se produjeron cambios significativos, aunque sin mejoras en VJ CMJ ($p = 0.002$), IMTP ($p = 0.001$), DHGS ($p = 0.947$) ni NDHGS ($p = 0.665$). Por el contrario, sí se observó un aumento significativo de la PLUmax ($p = 0.015$) y PUmax ($p = 0.001$), aunque sin cambios en MBT ($p = 0.334$). El cuestionario POMS mostró las puntuaciones negativas más altas en Tensión-Ansiedad, mientras que Vigor-Actividad fue el estado positivo más elevado. Los resultados del RESTQ-Sport indicaron que la recuperación total fue un 68.9 % mayor que el estrés total. Las categorías del POMS y las escalas del RESTQ-Sport se correlacionaron significativamente. Dichos resultados sostienen la presencia de un estado mantenido de estrés y tensión psicológica, acompañado por la no mejora en las pruebas de rendimiento neuromuscular, aunque sí en PLUmax y PUmax. **Conclusión:** Las pruebas militares más representativas, como carreras de 5 y 30 km transportando carga, imponen elevadas demandas físicas, fisiológicas y psicológicas. Estas pruebas originan un impacto neuromuscular significativo en el organismo y un estado sostenido de estrés, además de respuestas agudas de potenciación que son seguidas de una disminución muy pronunciada del rendimiento, con una recuperación incompleta incluso después de 48 horas. Ante este escenario, resulta fundamental el abandono de metodologías militares tradicionales, sustituyéndolas por planificaciones periodizadas, individualizadas y flexibles, así como la implementación de técnicas de monitorización para asegurar la progresión controlada del rendimiento físico, psicológico y operativo del recurso más valioso del Ejército: su personal en activo.

Palabras clave: Personal militar, Fuerzas Armadas, transporte de carga, soldado, rendimiento físico, acondicionamiento físico, fatiga neuromuscular, entrenamiento.

Términos TESAURO: Fisiología del ejercicio, estrés, metabolismo humano, neurofisiología humana.

ABSTRACT

Introduction: Throughout history, the soldier has been a prominent figure with a fundamental role in defense, conquest, and the preservation of order. In the contemporary context, comprehensive training is essential for executing military operations effectively in increasingly complex and demanding scenarios. This training ensures the development of a broad range of physical fitness components, enabling the soldier to maintain optimal operational performance in the fulfillment of their mission. However, the military environment presents significant limitations and challenges when it comes to designing training programs that adequately address the demands of modern conflicts. Added to this is the challenge of controlling training variables to avoid imbalances between load and recovery, which could induce adverse effects and compromise physical and operational performance. **Objective:** The primary objective of this project is to analyze the physical and physiological demands of the most representative military tests and assess the monitoring of fatigue in relation to training load within an operational environment. The aim is to establish more effective, specific, and controlled strategies that can optimize physical-military preparation while minimizing the risks of fatigue, overtraining, and injury. **Method:** To address the issues raised in this doctoral thesis, three studies were conducted. Study 1: Twenty-six soldiers were evaluated after completing a 30 km military march with a 34 kg load of combat logistics equipment. Study 2: Twenty-nine soldiers participated in a 5 km time trial while carrying a 24 kg combat logistics load. In both studies, evaluations were conducted before, immediately after, 24 hours after, and 48 hours after the test, assessing the acute and residual effects on fatigue and neuromuscular performance, as well as recovery trajectories. The following performance tests were administered in a predetermined order: blood lactate (BL) (study 2), countermovement jump (CMJ), isometric mid-thigh pull (IMTP), dominant hand grip strength (DHGS) and non-dominant hand grip strength (NDHGS), rating of fatigue scale (ROF), maximum pull-ups in 2 minutes (PLUmax), and completion of incident reports and perceived effort (IRPE). Study 3: Monitoring was conducted to assess accumulated neuromuscular and psychological fatigue, as well as training load assimilation, in 27 soldiers over a 13-week period. Every three weeks, the following tests were administered in the specified order: CMJ, IMTP, DHGS, NDHGS, PLUmax, maximum push-ups in 2 minutes (PUmax), and a 4.5 kg medicine ball throw (MBT). Additionally, psychological fatigue related to training load was evaluated weekly (every Sunday) using the POMS and RESTQ-Sport questionnaires. **Results:** In study 1, there was a significant decrease in IMTP ($p = 0.004$), maximum vertical jump height (VJ) CMJ ($p \leq 0.001$), PLUmax ($p \leq 0.001$), and MBT ($p \leq 0.001$). At the same time, there was a significant increase in the ROF ($p \leq 0.001$) and IRPE ($p \leq 0.001$). No significant changes were observed in DHGS ($p = 0.180$) or NDHGS ($p = 0.616$). The test induced significant fatigue in the soldiers,

who did not recover their overall absolute strength nor the maximal power of the lower limbs within 48 hours, despite a substantial reduction in perceived fatigue. In study 2, IMTP ($p = 0.001$) and VJ CMJ ($p \leq 0.001$) increased immediately after the test but then significantly decreased. PLUmax ($p \leq 0.001$) and MBT ($p \leq 0.001$) decreased significantly, while ROF ($p \leq 0.001$), BL ($p \leq 0.001$), and IRPE ($p \leq 0.001$) increased substantially following the test. Initially, there was an increase in overall absolute isometric strength and lower limb power immediately after the test, followed by significant neuromuscular fatigue, with no evidence of full recovery within 48 hours. In study 3: Significant changes were observed, although no improvements were found in VJ CMJ ($p = 0.002$), IMTP ($p = 0.001$), DHGS ($p = 0.947$) or NDHGS ($p = 0.665$). In contrast, there was a significant increase in PLUmax ($p = 0.015$) and PUmax ($p = 0.001$), while no changes were detected in MBT ($p = 0.334$). The POMS questionnaire revealed the highest negative scores in Tension-Anxiety, whereas Vigor-Activity was the most prominent positive state. Results from the RESTQ-Sport indicated that total recovery exceeded total stress by 68.9%. Significant correlations were found between the POMS categories and RESTQ-Sport scales. These findings support the presence of a sustained state of psychological stress and tension, accompanied by no improvement in neuromuscular performance tests, despite gains in PLUmax and PUmax. **Conclusion:** The most representative military tests, such as 5 km and 30 km runs with load carriage, impose high physical, physiological, and psychological demands. These tests cause a significant neuromuscular impact on the body and a sustained state of stress, alongside acute potentiation responses followed by a sharp decline in performance, with incomplete recovery even after 48 hours. Given this scenario, it is essential to move away from traditional military methodologies and replace them with periodized, individualized, and flexible training plans. Additionally, implementing monitoring techniques is crucial to ensure the controlled progression of both physical, psychological and operational performance in the military's most valuable resource: its active personnel.

Keywords: Military personnel, Armed Forces, load carriage, soldier, athletic performance, physical conditioning, readiness, neuromuscular fatigue, training, exercise.

Términos TESAURO: Fisiología del ejercicio, estrés, metabolismo humano, neurofisiología humana.

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de una Tesis Doctoral comprende un camino largo, desafiante, exigente y, en muchos momentos, escarpado, en el que es necesario afrontar y resolver multitud de problemas hasta llegar a la solución. Al mirar en retrospectiva todo lo realizado, viene a mi mente un proverbio que adquiere especial relevancia para mí en el contexto del presente trabajo: "si quieres ir rápido, ve solo; si quieres llegar lejos, ve acompañado". Y es que, en relación con esto, han sido muchas las personas que, a lo largo de este proceso, me han brindado su apoyo, me han escuchado con paciencia y me han ofrecido valiosos consejos en los momentos de duda y frustración. Es por ello que este apartado está dedicado a expresar, con profunda gratitud, mi más sincero reconocimiento al cálido acompañamiento que he recibido durante la realización de esta Tesis Doctoral por parte de las siguientes personas:

A mis padres Antonio y Celia, por la confianza depositada en mí, apoyándome incondicionalmente en cada etapa, y por ser desde siempre pilares fundamentales en mi vida. Muchas gracias, papá y mamá, por todo lo que me habéis dado. Sin vosotros, nada de esto hubiera sido posible.

A mi hermana Mireia, por la valiosa ayuda prestada que me ha facilitado el poder atender a mis compromisos profesionales y académicos, y por su generosidad al estar siempre predispuesta a ayudar, priorizando en innumerables ocasiones las necesidades ajenas a las propias. Muchas gracias Mire por estar ahí.

A mi familia de Murcia, mis tíos y primos, por ayudarme en todo lo que he necesitado, por su hospitalidad y por todos esos momentos en lo que he podido disfrutar de su compañía y desconectar tras largas jornadas de investigación y estudio. Sin duda habéis sido una pieza clave en esta etapa que siempre recordaré y os agradeceré.

A mi familia de Valencia, mis tíos y primos, por su apoyo constante, por sus consejos sinceros en los momentos de incertidumbre, y por los buenos momentos compartidos que han aligerado el camino. Muchas gracias por estar y querer siempre lo mejor para mí.

A mis abuelos, Antonio y Juana, Cristóbal y Celia, por las fructíferas y entrañables enseñanzas que me han transmitido con su ejemplo, y por inculcarme los valores que me hacen ser quien soy. Espero, de corazón, haceros sentir orgullosos.

A mi pareja, Ana María, por haber estado a mi lado desde el primer día con una paciencia, generosidad y entrega que difícilmente pueden expresarse con palabras. Nunca podré compensar todo lo que has hecho por mí durante este largo camino. Tu infinita e incondicional ayuda y comprensión en los momentos de dificultad han sido esenciales para que haya podido llegar hasta aquí y hoy pueda

ver culminada esta etapa. Muchas gracias de todo corazón por ser mi refugio, mi impulso y mi mayor motivación.

A Roberto y María Eugenia, a quienes considero unos padres para mí, estoy infinitamente agradecido con vosotros por tratarme como uno más de la familia, por acogerme, aconsejarme y guiarme durante todo el camino. Nunca olvidaré todo lo que habéis hecho por mí.

A Cristina y Enrique, por sus consejos acertados, su apoyo y orientación que han sido de gran ayuda para seguir avanzando en los momentos en que me sentía estancado.

A mis amigos, por su paciencia y comprensión infinita ante mis repetidas ausencias durante este proceso. Muchas gracias por todo lo vivido, por ayudarme a desconectar y por hacerme el camino más ameno. De verdad, no podría estar más agradecido por contar con el grupo de amigos que tengo.

A los participantes de los tres estudios, militares Suboficiales de la Escuela de Infantería de Marina, por haber realizado voluntariamente con gran dedicación y entrega los protocolos de estudio. Como ya os dije en su momento y hoy plasmo con estas palabras, mi más profunda admiración y reconocimiento por la labor que realizáis diariamente con gran dedicación, esfuerzo, ejemplaridad, disciplina y patriotismo al servicio de España.

A Pablo y Maite, por su constante apoyo, compromiso, lealtad y profesionalidad, así como por la valiosa ayuda prestada a lo largo de todo el camino, especialmente durante la fase de realización de los estudios experimentales. Sin vosotros no hubiera sido posible llevar a cabo el presente trabajo. Habéis sido personas fundamentales en esta etapa que recordaré siempre con gran gratitud, y cuya amistad espero disfrutar por muchos años más.

Finalmente, reservando para ellos un lugar destacado, a mis directores, Pedro y Cristian, quienes lo fueron en mi Trabajo de Fin de Máster y ahora en mi Tesis Doctoral. Han sido muchos años juntos en los que he tenido el privilegio de poder aprender de vosotros. Recuerdo con claridad el primer día que nos conocimos en el Máster, sin imaginar entonces el camino que el futuro nos tenía reservado. En aquel momento creía tener una buena base teórica y práctica de las Ciencias del Deporte, pero fuisteis vosotros quienes me ayudasteis a ver más allá y a dar un verdadero salto de calidad. A lo largo de todo este proceso, me habéis enseñado, guiado y sabido dar un impulso cuando lo he necesitado. Solo tengo palabras de agradecimiento para vosotros, por haber confiado en mí desde el principio y haberme brindado la oportunidad de crecer académica y profesionalmente bajo vuestra tutela, en un entorno exigente, pero enriquecedor, rodeado de grandes profesionales con repercusión internacional, que me ha permitido llegar hasta aquí. Sois unas grandes personas, íntegras, cercanas, generosas y referentes en vuestro campo a quienes siempre recordaré con profunda gratitud y admiración.

"Un propósito noble inspira sacrificio, estimula la innovación y anima la perseverancia"

Gary Hamel

PUBLICACIONES DE LA TESIS DOCTORAL

La presente Tesis Doctoral está compuesta por un compendio de tres artículos científicos, fruto de tres estudios experimentales diferentes, publicados en revistas internacionales de alto impacto académico e indexadas en el *Journal Citation Report* (JCR). A continuación, se presentan sus correspondientes referencias:

Artículo 1:

Cáceres-Diego, B., Marín-Pagán, C., Martínez de Baños, P., & Alcaraz, P. E. (2025). Effects of a 30 K Military Loaded Carriage on the Neuromuscular System in Spanish Army Marines. Sports, 13(3), 76. https://doi.org/10.3390/sports13030076

Artículo 2:

Cáceres-Diego, B., Alcaraz, P. E., & Marín-Pagán, C. (2025). Neuromuscular Responses to 5 K Time Trial Load Carried by Spanish Army Marines. Sports, 13(4), 129. https://doi.org/10.3390/sports13040129

Artículo 3:

Cáceres-Diego, B., Alcaraz, P. E., & Marín-Pagán, C. (2025). Neuromuscular and Psychological Performance Monitoring During One Season in Spanish Marine Corps. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 10(3), 324. https://doi.org/10.3390/jfmk10030324

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

RESUMEN **7**

I - INTRODUCCIÓN **33**

II - MARCO TEÓRICO **39**

2.1. Historia de los conflictos bélicos y evolución del entrenamiento militar: una breve aproximación **39**

2.2. La preparación físico-militar en España: síntesis histórica **42**

2.3. Análisis de las demandas fisiológicas y perspectivas contemporáneas del entrenamiento orientado a la mejora del rendimiento físico-operativo **47**

2.3.1. Tareas militares ocupacionales específicas relacionadas con los componentes de aptitud física 48

2.3.2. Concepto de preparación integral del militar 51

2.3.3. Entrenamiento militar en España: análisis y evolución 57

2.3.4. Alternativas contemporáneas al entrenamiento militar tradicional 67

2.3.5. Limitaciones y dificultades en la configuración del entrenamiento militar contemporáneo 69

2.3.5.1. Fenómeno de interferencia 70

2.3.5.2. Control de la carga de entrenamiento y eficiencia metodológica 73

III - JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS **79**

3.1. Problema principal **79**

3.2. Problemas específicos **80**

3.3. Hipótesis general **81**

3.4. Hipótesis específicas **81**

IV - OBJETIVOS **85**

4.1. Objetivo general **85**

4.2. Objetivos específicos **85**

V - VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS **89**

VI - ESTUDIO 1 ..... **95**

6.1. Introducción **95**

6.2. Materiales y Métodos **97**

6.2.1. Diseño del estudio 97
6.2.2. Participantes 98
6.2.3. Procedimientos 99
6.2.4. Análisis estadístico 101
6.3. Resultados 101
6.4. Discusión 103
6.5. Conclusiones 107
6.6. Apéndices 108
VII - ESTUDIO 2 117
7.1. Introducción 117
7.2. Materiales y Métodos 120
7.2.1. Diseño del estudio 120
7.2.2. Participantes 121
7.2.3. Procedimientos 122
7.2.4. Análisis estadístico 125
7.3. Resultados 125
7.4. Discusión 131
7.5. Conclusiones 136
7.6. Apéndices 136
VIII - ESTUDIO 3 143
8.1. Introducción 143
8.2. Materiales y Métodos 147
8.2.1. Diseño del estudio 147
8.2.2. Participantes 148
8.2.3. Procedimientos 148
8.2.3.1. Pruebas de rendimiento físico 148
8.2.3.2. Pruebas psicológicas de rendimiento 152
8.2.4. Análisis estadístico 153
8.3. Resultados 153
8.4. Discusión 157
8.5. Conclusiones 163
8.6. Apéndices 164

IX - DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS 173

X - CONCLUSIONES 181

10.1. Conclusión general 181

10.2. Conclusiones específicas 181

XI - LIMITACIONES 185

XII - APLICACIONES PRÁCTICAS 189

XIII - FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 195

XIV - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 199

XV - ANEXOS 225

SIGLAS Y ABREVIATURAS

El presente apartado contiene las siglas y abreviaturas empleadas para la realización de esta Tesis Doctoral, facilitando la comprensión rápida de los términos abreviados usados a lo largo de todo el documento. Resulta necesario especificar que no se incluyen las abreviaturas de las unidades del Sistema Internacional en la siguiente lista, ya que existen normas internacionalmente aceptadas para su uso. Adicionalmente, tampoco se presentan abreviaturas de uso universal en estadística, ni las del diccionario de la RAE.

Abreviatura	Descripción
ACFT	Prueba de aptitud física de combate (A*rmy Combat Fitness Test*)
AMPK	Proteína quinasa activada por monofosfato de adenosina *(adenosine monophosphate-activated protein kinase)*
AMP	Adenosín monofosfato o adenosín monofosfato (*adenosine monophosphate*)
ATP	Adenosín trifosfato (*adenosine triphosphate*)
BL	Lactato sanguíneo (*blood lactate*)
BM	Masa corporal (*body mass*)
BOE	Boletín Oficial del Estado
CAES	Curso de acceso a la escala de suboficiales
CMJ	Salto con contramovimiento (*countermovement jump*)
CNS	Sistema nervioso central (*central nervous system*)
CV	Coeficiente de variación (*coefficient of variation*)
CWT	Circuito tradicional de fuerza con cargas (*circuit weight training*)
DHGS	Fuerza de prensión manual de la mano dominante (*dominant hand grip strength*)
DSI	Índice de fuerza dinámica (*dynamic strength index*)
ECEF	Escuela Central de Educación Física
FNP	Facilitación neuromuscular propioceptiva (*proprioceptive neuromuscular facilitation*)

GPS	Sistema de posicionamiento global (*global positioning system*)
HGS	Fuerza de prensión manual (*hand grip strength*)
HIIT	Entrenamiento interválico de alta intensidad (*high-intensity interval training*)
HRC	Entrenamiento de fuerza en circuito a alta intensidad (*high intensity resistance circuit*)
IMTP	Tirón isométrico a mitad del muslo (*isometric mid-thigh pull*)
IRPE	Informes de incidencias y percepción de esfuerzo (*incident reports and perceived effort*)
MARS	Software de medición, análisis e informes (*measurement, analysis, and reporting software*)
MOLLE	Equipo modular ligero de transporte de carga (m*odular lightweight load-carrying equipment*)
MBT	Lanzamiento de balón medicinal (*medicine ball throw*)
NDHGS	Fuerza de prensión manual de la mano no dominante (*non-dominant hand grip strength*)
NSSR	Recuperación no específica del deporte (*non-sport-specific recovery*)
NSSS	Estrés no específico del deporte (*non-sport-specific stress*)
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PCon	Fuerza concéntrica máxima (*peak concentric force*)
PEcc	Fuerza excéntrica máxima (*peak eccentric force*)
PLUmax	Prueba de dominadas máximas en 2 minutos (*maximum pull-ups*)
POMS	Perfil de estados de ánimo (*profile of mood states*)
POS(T)	Posprueba o posejercicio
PP	Potencia máxima (*peak power*)
PRE	Preprueba o preejercicio
PUmax	Prueba de flexiones de brazos máximas en 2 minutos (*maximum push-ups*)
RESTQ-Sport	Cuestionario de recuperación-estrés para deportistas (r*ecovery-stress questionnaire for athletes*)
RFDCon	Tasa de desarrollo de fuerza en la fase concéntrica (*rate of force development in the concentric phase*)

RFDEcc	Tasa de desarrollo de fuerza en la fase excéntrica (*rate of force development in the eccentric phase*)
RM	Repeticiones máximas
ROF	Escala de valoración de la fatiga (*rating of fatigue scale*)
SIT	Entrenamiento a intervalos de esprint (*sprint interval training*)
SSR	Recuperación específica del deporte (*sport-specific recovery*)
SSS	Estrés específico del deporte (*sport-specific stress*)
TCT	Entrenamiento concurrente tradicional (*traditional concurrent training*)
TMD	Perturbación total del estado de ánimo (*total mood disturbance*)
TR	Recuperación total (*total recovery*)
TS	Estrés total (*total stress*)
VJ	Altura máxima de salto vertical desde el despegue (*maximum vertical jump height from take-off*)
VO_2max	Consumo máximo absoluto de oxígeno (*absolute maximal oxygen consumption*)

ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Portadas de los manuales de adiestramiento e instrucción físico-militar del Ejército español analizados. 59

Figura 2. Ejercicios localizados del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954. 60

Figura 3. Ejercicios utilitarios libres del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954..... 61

Figura 4. Ejercicios calmantes o finales del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954..... 61

Figura 5. Ejercicios utilitarios libres avanzados del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954. 62

Figura 6. Sesión Tipo de instrucción físico-militar del Manual MI7-007 de 1996. . 64

Figura 7. Sesión de endurecimiento: sesión de entrenamiento total del Manual MI7-007 de 1996. 64

Figura 8. Sesión de endurecimiento: sesión de entrenamiento total de aplicación al combatiente del Manual MI7-007 de 1996. 65

Figura 9. Sesión de combate del Manual MI7-007 de 1996. 65

Figura 10. Evolución de los resultados de la prueba de tirón isométrico a mitad del muslo..... 110

Figura 11. Evolución de los resultados de la prueba de altura de salto con contramovimiento. 110

Figura 12. Evolución de los resultados de la prueba de valoración mediante escalas de fatiga. 111

Figura 13. Evolución de los resultados de la prueba de dominadas. 111

Figura 14. Evolución de los resultados de la prueba de evaluación de la fuerza de prensión manual..... 112

Figura 15. Evolución de los resultados de la prueba de tirón isométrico a mitad del muslo..... 137

Figura 16. Evolución de los resultados de la prueba de altura de salto con contramovimiento. 137

Figura 17. Evolución de los resultados de la escala de valoración de la fatiga. ... 138

Figura 18. Evolución de los resultados de la prueba de dominadas. 138

Figura 19. Evolución de los resultados de la prueba de fuerza de prensión manual. 139

Figura 20. Variables de rendimiento neuromuscular. 165

Figura 21. Perfil de Iceberg del Cuestionario POMS. 166

Figura 22. Escalas y dimensiones del cuestionario RESTQ-Sport durante 12 semanas. 166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de las variables de rendimiento en diferentes momentos. .. 109

Tabla 2. Informe sobre incidencias y percepción de esfuerzo tras la marcha de endurecimiento con carga de 30 km. 113

Tabla 3. Resultados de las variables de rendimiento en diferentes momentos. .. 128

Tabla 4. Informes de incidencias y percepción de esfuerzo tras la marcha de resistencia de 5 km. 130

Tabla 5. Resultados de las variables de rendimiento en diferentes momentos de evaluación. 167

Tabla 6. Medias y desviaciones estándar de las seis categorías analizadas del cuestionario POMS..... 168

Tabla 7. Evolución de los niveles de estrés/recuperación a través de las diecinueve escalas del cuestionario RESTQ-Sport..... 169

Tabla 8. Correlaciones de Pearson entre las diecinueve escalas del cuestionario RESTQ-Sport y las seis categorías del cuestionario POMS. 170

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estudio 1 en formato original de publicación: Efectos de una marcha militar de endurecimiento con carga de 30 km sobre el sistema neuromuscular en Infantes de Marina del Ejército español. 225

Anexo 2. Estudio 2 en formato original de publicación: Respuestas neuromusculares a una carrera contrarreloj con carga de 5 km por Infantes de Marina del Ejército español. 241

Anexo 3. Estudio 3 en formato original de publicación: Monitorización del rendimiento neuromuscular y psicológico durante una temporada en el Cuerpo de Infantería de Marina española..... 258

I – INTRODUCCIÓN

I - INTRODUCCIÓN

La organización militar ha constituido un pilar fundamental en la formación, organización y consolidación de las primeras sociedades (1), ejerciendo un papel crucial en la defensa y la expansión territorial. Desde los inicios de la civilización, los conflictos bélicos imponían determinadas exigencias físicas y psicológicas que impulsaron la creación de sistemas rudimentarios de entrenamiento físico, los cuales estaban destinados a mejorar la condición física y las destrezas de las tropas para el combate. Estos métodos buscaban garantizar la capacidad operativa, la eficacia y la disciplina frente a las exigentes condiciones de la guerra y la vida castrense (2,3). Posteriormente, tras el progreso de las civilizaciones y la complejidad creciente de los escenarios bélicos, la preparación física evolucionó hacia programas más especializados, consolidándose como la base del adiestramiento militar, complementada con la instrucción técnica y táctica (4), que llevó a adaptar dichas prácticas a las nuevas demandas de la batalla. En sus orígenes, dicho entrenamiento estaba orientado a forjar soldados disciplinados y resistentes, capaces de soportar el desgaste y las elevadas demandas del campo de batalla (5,6). Como prácticas habituales se efectuaban combates cuerpo a cuerpo, marchas forzadas de gran duración, prácticas con armas, ejercicios en condiciones extremas, como bajas temperaturas, restricciones alimentarias, déficit de sueño y fatiga prolongada.

Durante el siglo XIX, la educación física comenzó a consolidarse en España bajo la influencia de modelos gimnásticos europeos, principalmente el francés, marcando el inicio de una etapa de modernización en la formación militar (7). Esto fue debido a que se atravesó un contexto político, social y económico complejo, surgiendo la necesidad de estructurar y sistematizar el entrenamiento físico de los soldados españoles (8,9), adoptando enfoques e influencias extranjeras (10). Hacia finales del siglo XIX se elaboraron los primeros manuales y reglamentos basados en la gimnasia sueca, destinados a moldear y fortalecer el cuerpo de los soldados, así como fomentar hábitos adecuados (11). El objetivo primordial era desarrollar las capacidades físicas que los soldados requerían para mejorar las habilidades y destrezas requeridas en el combate. Las tareas militares específicas (12,13) que debían ejecutar comprenden desde empujar y traccionar, cavar, moverse rápido, trepar y saltar obstáculos, hasta reptar, caminar/marchar/correr largas distancias y cargar/transportar/arrastrar cargas pesadas o equipo logístico, así como la combinación de varias tareas (13–16). Dichas actividades reflejan la elevada exigencia física y operativa característica de los militares de unidades de alta movilidad y despliegue, y están vinculadas a ciertas capacidades físicas que, sin un entrenamiento, instrucción y adiestramiento físico-militar adecuados, difícilmente

conseguirían ser desarrolladas para asegurar un eficaz desempeño en contextos operativos y cumplir con éxito las misiones asignadas.

En las últimas décadas, dichas demandas fisiológicas asociadas al combate han experimentado transformaciones, lo que implica identificar las necesidades reales y actuales del contexto operativo para adaptar la preparación integral del militar. Consiguiendo que este proceso optimice el desempeño de tareas militares específicas, prevenga lesiones musculoesqueléticas y favorezca la supervivencia en entornos hostiles (13,17). Los conflictos y operaciones militares pertenecientes a la situación geopolítica internacional actual exigen que todo el personal mantenga una óptima preparación física integral. Dicha preparación abarca tanto los componentes de aptitud física, como las áreas técnica, táctica, psicológica, nutricional, regenerativa y teórica, asegurando un estado óptimo de rendimiento y bienestar general del personal militar. Este equilibrio resulta necesario para afrontar y cumplir con eficacia las tareas operativas a las que, con altas demandas físicas y psicofisiológicas, están expuestos (16,18,19).

A pesar del avance en la ciencia y tecnología, en España se continúan aplicando modelos de entrenamiento basados en antiguas y tradicionales filosofías de entrenamiento, ya sea por falta de recursos económicos, materiales o humanos. Al igual que en otros ejércitos del mundo, esta problemática común se caracteriza por la prevalencia de programas de entrenamientos con excesivo ejercicio aeróbico de tipo continuo, de alto volumen y baja intensidad, prolongados en el tiempo y con escasa recuperación, que no consiguen alcanzar el máximo desarrollo o potencial, incluso lo limitan (19–22). Numerosos estudios (23–25) han demostrado que, a largo plazo, este tipo de prácticas puede derivar en una disminución de los niveles de fuerza y potencia muscular, dificultando la correcta y fundamental adquisición de adaptaciones neuromusculares y aumentando el riesgo de lesiones musculoesqueléticas (26). Esta situación causa importantes problemas en lo que respecta a bajas laborales y de costes asociados, que afectan negativamente al Ejército, mermando su potencia y capacidad militar (27).

Los recientes estudios y evidencias científicas en los campos del entrenamiento y la fisiología del ejercicio han permitido esclarecer los componentes y factores determinantes que influyen en el rendimiento operativo y en el desempeño de las funciones del personal militar (15,16,20,28–30). Sin embargo, tanto el alcanzar dicho estado óptimo de rendimiento físico como mantenerlo resulta complejo debido a ciertas limitaciones. Entre ellas destacan la falta de consenso en la estandarización de sistemas y métodos de entrenamiento orientados a la mejora del rendimiento físico-militar (29), la dificultad que implica la periodización del entrenamiento dado el amplio espectro de componentes de aptitud física a integrar (20), y las complicaciones derivadas de desarrollar

simultáneamente ciertas capacidades físicas básicas de fuerza y resistencia de carácter antagónico (21), entre otras.

Considerando la limitada evidencia en torno a la preparación física militar, así como su inherente complejidad, la persistencia de filosofías tradicionales de entrenamiento, la falta de concienciación, estandarización y consenso respecto a los sistemas de entrenamiento destinados a mejorar la preparación físico-militar y el análisis de los requerimientos que las unidades a la vanguardia del Ejército precisan para vencer en los escenarios bélicos multifacéticos actuales, surge la necesidad de profundizar en el estudio de estas problemáticas. En este contexto, la presente Tesis Doctoral pretende analizar las demandas físicas y fisiológicas de pruebas representativas militares, centrándose especialmente en una de las tareas físicamente más exigentes que el militar afronta en zona de operaciones: el maniobrar cargado o transportando carga. Además, se planea la implementación de la monitorización de la carga de entrenamiento en un entorno operativo y psicológicamente exigente en régimen de vida interno. Todo ello con el propósito de generar y sustentar nuevo conocimiento que permita desarrollar estrategias viables y efectivas, que minimicen el riesgo de fatiga, sobreentrenamiento y lesión; y, al mismo tiempo, que optimicen la preparación físico-militar para un mejor desempeño de las funciones militares y el cumplimiento de la misión encomendada.

II – MARCO TEÓRICO

II - MARCO TEÓRICO

2.1. HISTORIA DE LOS CONFLICTOS BÉLICOS Y EVOLUCIÓN DEL ENTRENAMIENTO MILITAR: UNA BREVE APROXIMACIÓN

Desde mucho antes de que la humanidad se rigiera por su intelecto, e incluso antes de la aparición de las primeras civilizaciones, el ser humano dependía de la condición física de su cuerpo como herramienta esencial para garantizar seguridad, refugio y alimento a su colectivo. Los orígenes del "entrenamiento" se remontan a tiempos remotos, en los cuales su significado distaba considerablemente de su concepción en la actualidad. En sus inicios, las primeras formas de entrenamiento surgieron con el objetivo de asegurar la supervivencia individual y colectiva de los primeros grupos humanos, así como para adaptarse y responder a los conflictos bélicos emergentes. Por ese motivo, el concepto primitivo de entrenamiento militar hace referencia a la forma en que el ser humano adaptó y condicionó su cuerpo a las exigencias de supervivencia y bélicas de cada época; constituyendo así las primeras manifestaciones de lo que hoy conocemos como entrenamiento militar. En adecuación a esto, un breve recorrido de las principales etapas de la evolución de la humanidad es suficiente para evidenciar que el desarrollo de la preparación física militar, inicialmente basado en prácticas físicas repetitivas que más adelante se transformaron en formas sistematizadas de entrenamiento estructurado, no fue sino la manera de adaptar el cuerpo para afrontar las exigencias de la guerra características de cada época.

Si nos remontamos a los periodos del Paleolítico y Neolítico (2500000-3500 años a. C.), los enfrentamientos eran puntuales y de carácter tribal, sin ejército organizado. En este contexto, mantener una adecuada condición física resultaba fundamental para la prosperidad de la comunidad (31). Así pues, comenzaron las primeras actividades físicas repetitivas derivadas de la realización de tareas cotidianas que, sin intención, sirvieron como medio para adquirir cierta preparación física, con el fin de mejorar la capacidad funcional del cuerpo humano y la destreza en el manejo de herramientas y armas. Las actividades primitivas destinadas a dicho fin ponían su foco en la defensa territorial ante amenazas, la caza y recolección de alimento, la búsqueda recursos, así como el transporte materiales y desplazamiento a largas distancias.

Con la aparición de las primeras civilizaciones, como Mesopotamia, Egipto o China, en el 500 a. C., se produjo un cambio significativo en lo que respecta a los conflictos bélicos, siendo más complejos, sistemáticos y estando dotados de estrategias organizadas y armas más sofisticadas (5). En este sentido, se produjo una especialización de los combatientes con entrenamientos y maniobras más

regulares con el objetivo de dominar el manejo de las armas y estrategias militares tanto ofensivas como defensivas. De ese modo, los guerreros ya no solo realizaban actividades físicas primitivas, sino que seguían un entrenamiento sistemático, dando lugar al inicio de la profesionalización militar (3).

En esta misma línea, durante la Antigüedad clásica se produce un punto de inflexión con las civilizaciones griega y roma (800 a.C.-476 d. C.), en las cuales se profesionalizan los ejércitos y, por ende, la preparación física. El culto al cuerpo adquirió un protagonismo sin precedentes, tras la formación integral del ciudadano y del soldado (6). El entrenamiento militar tenía como propósito preparar adecuada y rigurosamente a los soldados para la batalla, en el arte de la guerra, donde hoplita o legionario se fundían con su escudo, lanza y espada en una unidad letal para el combate (5). Mientras que, en Grecia, la educación física preparaba al ciudadano para la guerra y para la vida cívica, mediante la ejecución de carreras, luchas, lanzamiento de jabalina y coordinación con formaciones de falanges (32). Roma en cambio, desarrolló entrenamientos sistematizados y estructurados orientados a la formación de sus legionarios en marchas prolongadas, maniobras tácticas en formación y ejercicios de fuerza (33). En esta época, destaca el primer concepto de gimnasio en Grecia, así como la ciudad-estado Esparta, con una sociedad de carácter militarizado. En Esparta, los ciudadanos eran formados desde la infancia hasta la adultez para ser guerreros implacables, por medio de una rigurosa instrucción que combinaba una avanzada táctica militar, y una preparación física y disciplina altamente profesionalizada (2).

En la Edad Media (476-1453 d. C.) se produjo un cambio significativo en el enfoque bélico con la llegada del feudalismo, el cual fragmentó y descentralizó los ejércitos. Estos pasaron a estar formados en su mayoría por caballería militar, integrada por nobles, e infantería ligera, conformada por campesinos o mercenarios (34). Como estrategias militares principales predominaron los asedios y la defensa territorial (35). En este contexto, se instauró un fuerte predominio eclesiástico y la profesionalización de los ejércitos se redujo considerablemente, limitándose casi en su totalidad a los caballeros que recibían una preparación para la guerra individualizada, y a milicias locales (36). Como consecuencia, el deporte y la educación física tal y como se entendía en la Antigüedad clásica desapareció, y apareció en su lugar las justas y torneos, de enfoque lúdico y ceremonial.

Con la llegada de la Edad Moderna, periodo comprendido entre los siglos XVI y XVIII, se produce un cambio drástico en la historia de los conflictos bélicos marcado por el empleo de la pólvora y las armas de fuego que revolucionaron el campo de batalla (37,38). Resurgen los ejércitos con una sólida profesionalización, compuestos principalmente por infantería que requería una gran preparación técnica para el manejo de las armas, conocimiento táctico para avanzar en formación coordinadamente y ejecutar maniobras estratégicas, así como una

disciplina con la que lograr una organización logística eficaz y entrenamiento físico sistemático (39). A ello, contribuyó la creación de academias y centros de formación militar, donde los soldados adquirían competencias técnicas y desarrollaban capacidades físicas vitales para el combate (37). El tipo de programas de entrenamiento posibilitaba la realización de largas marchas, transporte de equipo pesado y el manejo eficaz de armas de fuego, todo ello esencial en el marco bélico de la época (38).

Entre el siglo XIX y mediados del XX, el entrenamiento físico-militar se institucionaliza en los ejércitos contemporáneos, pasando a tener un carácter sistemático y siendo fundamental para la preparación del personal militar. Las cuantiosas guerras mundiales a gran escala, como las Guerras Napoleónicas, las Guerras de Independencia de América Latina, la Guerra de Crimea, las Guerras Coloniales, y la Primera y Segunda Guerra Mundial, obligaron a adaptar el entrenamiento físico-militar, estandarizándolo y poniendo el foco en el desarrollo de las capacidades físicas necesarias para afrontar las duras condiciones de la batalla y la vida castrense en los desafiantes y complejos escenarios bélicos (9). Este entrenamiento estandarizado tenía como objetivo aumentar la capacidad funcional y, con ello, la operatividad en cumplimiento de las tareas militares encomendadas, en un contexto de movilización masiva de tropas en cada uno de los conflictos. El programa de entrenamiento constaba mayoritariamente de ejercicios propios de la gimnasia militar, prácticas calisténicas, marchas de endurecimiento con carga, y deportes militares reglados, además de pruebas físicas como herramientas de evaluación y cuantificación del grado de mejora individual y del nivel global de condición física (40).

Por último, desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, los conflictos bélicos han sido de carácter localizado, a pequeña o mediana escala, encubierto, o promovidos por el terrorismo e insurgencias. Este tipo de enfrentamientos militares son sumamente especializados y de total profesionalización, requiriendo selecto personal militar con amplio conocimiento sobre dispositivos tecnológicos de última generación, táctica y estrategia militar, armamento avanzado y combate en población o entornos urbanos. Asimismo, resulta indispensable que el personal militar posea extensa información de inteligencia sobre la zona de operaciones, y amplia formación mediante cursos especializados y de capacitación para combatir en múltiples entornos, como en montaña, en desierto, por aire, por mar, de noche de día, con frío o calor extremos. Por consiguiente, se requiere una gran preparación físico-militar y psicológica, tanto para combatir y cumplir con sus funciones en entornos extremos y hostiles, como para asegurar la correcta toma de decisiones y mantener el control bajo situaciones de gran estrés y presión (19,41). En resumen, los conflictos armados contemporáneos requieren dotar a los militares de una alta especialización y una formación integral con un amplio abanico de

competencias que les haga determinantes para vencer y superar las adversidades, lograr con éxito la misión y regresar a casa con sus familias. Estas competencias que conforman la preparación integral del militar se desarrollarán más adelante en un epígrafe posterior.

En conclusión, la preparación físico-militar de la mano del entrenamiento militar han sufrido una significativa transformación en su paso por cada época de la historia, desde su fin para la supervivencia y prácticas sistematizadas de entrenamiento, hasta su profesionalización y desarrollo integral del soldado para adaptarlo a las demandas bélicas de cada época. Este repaso histórico, así como el contexto geopolítico actual en lo concerniente a este tópico, será clave para entender las demandas de la preparación integral del individuo en la actualidad para un mejor desempeño operativo en las batallas emergentes.

2.2. LA PREPARACIÓN FÍSICO-MILITAR EN ESPAÑA: SÍNTESIS HISTÓRICA

Al igual que en el resto del mundo, la preparación físico-militar del Ejército español fue un pilar fundamental que se desarrolló y evolucionó conforme las demandas operativas de cada época. Estas exigencias bélicas propiciaron que la formación y el entrenamiento físico se adaptaran tanto a los avances del ámbito militar como a los de la educación física, con el propósito de capacitar a los soldados en los aspectos físico, técnico, táctico y psicológico para asegurar cumplir con el deber asignado. Con el paso del tiempo, la preparación integral del personal militar en España se consolidó progresivamente hasta alcanzar en la actualidad el momento de máximo desarrollo. Este proceso ha sido necesario e indispensable para forjar soldados eficaces y dispuestos a sobreponerse a las dificultades y vencer en el campo de batalla, actuar en condiciones adversas, desenvolverse en escenarios hostiles y enfrentarse a situaciones de gran complejidad. En este apartado se abordará, en primer lugar, el desarrollo de la preparación física implementada en el Ejército español entre los siglos XVI y XIX; en segundo lugar, la instauración de academias y centros de formación militares en España; y, por último, la transformación e implementación de la preparación físico-militar desde el siglo XX hasta la actualidad en España.

Entre los siglos XVI y XVII tuvo lugar la época dorada, el Siglo de Oro español, iniciado por el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, en la que España se consolida como potencia militar de alcance mundial, expandiendo su dominio en Europa, África, Asia y América (42). En este momento, sobresalió la hegemonía de los Tercios españoles, reconocidos por su férrea disciplina, su resistencia y fortaleza física, su aguerrido espíritu combativo, y el excelente y riguroso entrenamiento físico, táctico en estrategia y técnico en el manejo de las armas. Sus innovaciones en el campo de batalla, a través de tácticas de combate avanzadas y el empleo de armamento como picas, arcabuces y espadas, les

convirtieron en una fuerza armada temida e indomable (43). Eran capaces de soportar largas marchas forzadas transportando equipo pesado y extensas campañas militares en condiciones climáticas adversas, con privación de sueño y alimento (44). No obstante, a finales del siglo XVII, comenzó el declive del Imperio español. Las crisis internas y las limitaciones de recursos mermaron su capacidad bélica, aunque logra mantener una presencia significativa a pesar de las dificultades.

En el siglo XVIII, las reformas borbónicas promovieron la modernización de la preparación físico-militar, incorporando influencias francesas y europeas (45), aunque todavía se mantenían costumbres heredadas de los Tercios, limitándose casi exclusivamente a los requerimientos del combate. Este periodo destaca por la creación de las primeras academias militares en España, como la Escuela Naval Militar en 1717 o la Academia de Artillería de Segovia en 1764. La función principal de estas instituciones consistió en proporcionar a los Oficiales del Ejército una formación integral mediante una enseñanza reglada, con excepción de la educación física, y basada en conocimientos científicos y técnicos con aplicación militar (46). La preparación física se basaba en ejercicios diseñados para mejorar el rendimiento en el campo de batalla, tomando como referencia la experiencia de conflictos bélicos previos. En este sentido, cobraron especial relevancia las marchas forzadas de largas distancias con equipo de combate, la destreza en el manejo de las armas y la exigente disciplina militar, tanto física como mental (47,48).

El siglo XIX se caracteriza por la pérdida de una parte considerable del territorio español, tanto peninsular como por ultramar, como consecuencia de las guerras napoleónicas, la crisis del 1898 y diversos conflictos internos sumados a la frágil situación del país. En este contexto, la preparación físico-militar sufrió una transformación con influencia en modelos extranjeros (49), adaptándose a las nuevas condiciones y escenarios tácticos de los conflictos bélicos y a la modernización del armamento. El Ejército se profesionalizó mediante la cada vez mayor sistematización de la instrucción y el adiestramiento militar, sustentados por una gran disciplina, pero no de forma oficial. Entre las prácticas más destacadas se incluyen maniobras coordinadas entre unidades, marchas de endurecimiento prolongadas por terreno impracticable, y la aplicación de estrategias tácticas cada vez más elaboradas. No fue hasta finales de siglo XIX e inicios del XX, cuando surgieron las primeras iniciativas de educación física en España aplicadas al ámbito militar, y también civil, influenciadas por modelos europeos, y cuyos objetivos se centraban en conseguir una formación militar más sistematizada y estandarizada, mejorar la instrucción física-militar y establecer procedimientos tácticos más consistentes con el concepto de ejército permanente (9,49). Estas propuestas introdujeron ejercicios más planificados y estructurados, que presentan similitud con las concepciones de la educación física contemporánea.

El siglo XX representa un punto de inflexión en la preparación físico-militar del Ejército español debido a que el entrenamiento integró de manera progresiva ejercicios pertenecientes a programas especializados de educación física, en paralelo a la creciente profesionalización de las Fuerzas Armadas. Este proceso se vio favorecido por la consolidación de dichos programas de adiestramiento físico-militar en academias militares y otros centros de formación, mediante la implementación de ejercicios gimnásticos adaptados al Ejército, que se tratarán en profundidad en el análisis del manual de 1954 analizado más adelante, como carreras y marchas de endurecimiento, así como ejercicios destinados a la mejora de la flexibilidad, el fortalecimiento muscular y la velocidad, tal como se analizará más adelante en profundidad. Del mismo modo, durante este siglo tuvieron lugar diversos conflictos bélicos de gran relevancia que obligaron a adecuar la preparación física a las condiciones específicas de éstos mismos.

Con la Guerra de Marruecos (1909-1927), las tropas españolas se vieron en la necesidad de prepararse para condiciones climatológicas extremas, caracterizadas por un intenso calor de día y bajas temperaturas de noche, además de desplazarse por adversas zonas de terreno abrupto y de difícil acceso, incluyendo desierto y montaña (50). Las operaciones militares extenuantes llevadas a cabo por las fuerzas españolas fueron de larga duración, con escasez de víveres, y teniendo que realizar prolongadas marchas con desnivel del terreno, mientras transportaban su propio equipamiento de combate (51). Para afrontar tales demandas, se reforzó y adoptó la instrucción y el adiestramiento militar con el propósito de potenciar en los soldados una elevada resistencia física y psicológica, mediante maniobras y ejercicios gimnásticos específicos. Esto les permitió que fueran capaces de retrasar la fatiga, desplazarse velozmente en distancias cortas, y combatir con agilidad ante los ataques sorpresa y emboscadas (52).

Otro conflicto importante de este periodo fue la Guerra Civil Española (1936-1939) y la etapa de posguerra, durante la cual la preparación físico-militar volvió a adaptarse a las necesidades específicas que el conflicto imponía. A diferencia de la Guerra de Marruecos, esta Guerra Civil fue más moderna en tecnología militar y con escenarios diferentes. Un aspecto común a las guerras anteriores fue la larga duración de las operaciones bélicas, que se desarrollaron tanto en trincheras como en desplazamientos y marchas con el equipo completo en condiciones de escasez de recursos, frío, hambre y privación de sueño. Evidentemente estas circunstancias demandaron una alta preparación física para resistir las exigencias de la guerra y mantener un rendimiento operativo óptimo, técnica para el manejo de la tecnología y armamento, táctica para la ejecución de ataques estratégicos en formación, y psicológica para soportar los horrores, secuelas y dureza de la guerra (53). En esta ocasión, el conflicto se desarrolló en terreno urbanizado, con el empleo y protagonismo de la aviación, artillería pesada y vehículos blindados. La guerra

urbana acrecentó los movimientos y desplazamientos rápidos y ágiles bajo el fuego enemigo, así como el combate cercano cuerpo a cuerpo. Con el fin de la guerra y la consolidación del régimen franquista, el servicio militar obligatorio en España gana fuerza (54). Aunque este comenzó en el siglo XVIII durante el reinado de Carlos III, fue notablemente reforzada aplicando disciplina militar, junto con instrucción y adiestramiento básico para toda la población masculina, que duraría hasta el año 2001.

Durante la Primera y Segunda Guerra Mundial, en 1914-1918 y en 1939-1945, España adoptó una postura de neutralidad, debido al clima de instabilidad que atravesaba en los ámbitos económico, social y político, agravado por las consecuencias de la Guerra Civil que asolaron al país. Sin embargo, es importante señalar que España envió un contingente de militares voluntarios, la División Azul, a combatir contra la Unión Soviética, en donde las condiciones climáticas fueron extremas debido al frío gélido, y las exigencias bélicas presentaron características similares a las de conflictos anteriores.

Como se ha mencionado anteriormente, tras los conflictos bélicos ocurridos en España a lo largo de los siglos XIX y XX, la preparación físico-militar de las tropas españolas se reforzó con la publicación de manuales de instrucción y adiestramiento militar. El objetivo fundamental de estas publicaciones fue sistematizar y estructurar el entrenamiento, con el propósito de mejorar la condición física y la destreza de los soldados, asegurando una elevada transferencia positiva al rendimiento en combate y adaptándose a los requerimientos de los conflictos armados.

Con la instauración de la actual Escuela Central de Educación Física (ECEF) en 1919, se produce la publicación *Reglamento Provisional de Gimnasia para Infantería* en 1911 (55), mediante la cual se regula la educación física en todo el Ejército, adoptando la gimnasia sueca como método de referencia. Años después, en 1927, la Escuela Central de Gimnasia publicó el *Reglamento de instrucción física para el Ejército* (56). En 1947 el *Reglamento de Educación Física para el Ejército* (57) y en 1954, en Madrid, fue publicado el *Plan de adiestramiento físico-militar (tablas)* (58), analizándose este último más adelante. Estos manuales fueron estableciendo un marco metodológico y estructurado para la educación física y formación integral del individuo.

Con la adhesión de España en la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) en 1982, el Ejército español adquirió de nuevo presencia bélica en Europa, aportando potencia militar que tuvo que adaptarse en todos los sentidos a los nuevos desafíos y conflictos emergentes. España comienza a participar en misiones de mantenimiento de la paz, ofreciendo ayuda humanitaria e internalizando recursos a sus aliados. En paralelo, aunque la educación física en el Ejército se institucionaliza ya desde principios del siglo XIX, continúa con

programas de entrenamiento cada vez más sólidos y específicos para el ámbito militar. Así pues, con la recuperación progresiva del país, los programas de adiestramiento y deporte militar fueron actualizándose y fortaleciéndose con el diseño de manuales y planes de adiestramiento e instrucción físico-militar, con características similares a los actuales.

Desde el manual publicado en 1954 (58), surgieron varias publicaciones relacionadas con la preparación física de las tropas españolas. Entre ellas se incluyen las *Normas Comunes a todas las Armas y Cuerpos para la Instrucción físico-militar* de 1967 (59), el *Manual de instrucción físico-militar (M-0-3-20)* de 1977 (60) y su segunda versión actualizada y ampliada en 1984, así como el *Manual de instrucción físico-militar (M-0-6-3)* de 1990 (61), y el *Manual de Instrucción. Adiestramiento físico-militar (MI7-007)* de 1996 (62), el cual se tratará con atención posteriormente.

El siglo XXI se distingue por un enfoque multidisciplinar con una alta especialización y profesionalización sin precedentes. Con la supresión del servicio militar obligatorio en España, la preparación del personal militar ha adquirido un carácter integral, orientado en responder a la multitud de exigencias polivalentes y al combate en entornos operativos de gran diversidad, en cualquier rincón del mundo, caracterizados por condiciones específicas cambiantes (63). Esta preparación integral no solo se limita al ámbito técnico, centrado en dominar los avanzados equipos, armamento y dispositivos militares tecnológicos mediante cursos de formación especializados y prácticas específicas; ni al ámbito táctico, con el fin de dotar a las tropas estrategias de alto nivel de coordinación con el resto de unidades militares del Ejército español y éste a su vez con los países de la OTAN. Si no también abarca el ámbito psicológico por medio de la resiliencia como capacidad para enfrentarse, adaptarse y sobreponerse a las adversidades; y físico, al integrar conocimientos de entrenamiento sobre planificación y periodización, métodos de entrenamiento, pruebas de evaluación, integración de las distintas capacidades físicas, y más (12,64). Esta amplia preparación, que tiempo atrás no era tan necesaria, hoy en día se considera un requisito indispensable para asegurar que los militares del siglo XXI estén correctamente capacitados, aumentar las posibilidades de éxito y de ese modo garantizar la victoria en el combate. No obstante, algunos de los requerimientos que hemos mencionado resultan desarrollados a un nivel básico o no tienen aplicación real en todas las unidades militares actualmente. Bajo estas premisas, la preparación integral del personal militar que es punta de lanza del Ejército y necesaria para los cometidos asignados del siglo XXI, como la problemática actual que existe en las unidades de los ejércitos, se desarrollarán en el epígrafe siguiente.

2.3. ANÁLISIS DE LAS DEMANDAS FISIOLÓGICAS Y PERSPECTIVAS CONTEMPORÁNEAS DEL ENTRENAMIENTO ORIENTADO A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO FÍSICO-OPERATIVO

El papel del militar en la actualidad sigue siendo de gran relevancia. Las normas de conducta y principios éticos que rigen al personal militar del Ejército español se encuentran establecidos en el Real Decreto 96/2009, de 6 de febrero, por el que se aprueban las Reales Ordenanzas para las Fuerzas Armadas (65). El deber primordial del militar consiste en la disposición permanente para defender a España, incluso con la entrega de la propia vida si fuese necesario. En el cumplimiento de su misión, el Ejército garantiza el mantenimiento de la paz, tanto en el territorio nacional como en el extranjero, mediante la preservación del orden constitucional, la defensa de la nación y la protección de sus ciudadanos (65).

El Ejército español se compone del Ejército de Tierra, la Armada y el Ejército del Aire, cada uno con misiones específicas que cumplen con rigurosa dedicación, con el objetivo de coordinar la potencia bélica para hacer frente a cualquier amenaza por tierra, mar y aire. A su vez, cada Ejército se compone de numerosas unidades militares, cuya labor se centra en desarrollar y ejecutar funciones específicas con disciplina, entrega, dedicación y compromiso. Cada unidad posee una misión, un objetivo y tareas concretas destinadas a cubrir los requerimientos y demandas militares desde perspectivas diversas, contribuyendo de manera conjunta a garantizar la seguridad y soberanía nacional. Dentro de los tres Ejércitos, existen unidades que se posicionan a la vanguardia y actúan como punta de lanza de las Fuerzas Armadas. Se trata de unidades de ataque altamente efectivas, entrenadas y capacitadas para operar en combate hasta lograr la victoria (62).

Sus miembros deben recibir una formación integral y multidisciplinar que les proporcione una preparación de amplio espectro, orientada a la ejecución de tareas y actividad de diversa índole. Dicha preparación asegura la superioridad en el combate, la capacidad de sobreponerse a condiciones adversas y a entornos operativos polivalentes, así como la fortaleza para superar la exigencia de la vida castrense. Todo ello con el objetivo de cumplir con éxito la misión encomendada cuando el deber así lo requiera. Cuando el deber les llama, los militares asumen responsabilidades y desempeñan tareas que, en muchas ocasiones, nadie quiere realizar por el peligro que implican, por tener que desplazarse a lugares inaccesibles o conflictivos lejos de sus familias, por enfrentarse al enemigo en territorio hostil y bajo circunstancias extremas de gran exigencia en entornos imprevisibles. En tales situaciones, deben superar todo tipo de obstáculos y desafíos, actuando en condiciones frecuentemente desfavorables, soportando temperaturas extremas, escasez alimentaria, déficit de sueño, fatiga prolongada y constante riesgo de perder la vida. Por tanto, ser militar no constituye solo una profesión, sino un estilo de vida. No se trata de una obligación impuesta, sino un

deber y compromiso asumido de manera voluntario y altruista en beneficio de los ciudadanos y de la patria.

Las tareas o especialidades ocupacionales que el personal militar de dichas unidades debe ejecutar diariamente están estrechamente vinculadas con una serie de componentes de aptitud física esenciales para garantizar un desempeño eficaz en sus funciones (14,66). El desarrollo de estos componentes constituye el objetivo principal de la preparación físico-militar impartida en las Fuerzas Armadas españolas. Dicha preparación física, junto con la preparación psicológica, es la base sobre la que se sustenta la preparación integral o global del militar de unidades altamente operativas, como veremos a lo largo de este epígrafe (19).

2.3.1. Tareas militares ocupacionales específicas relacionadas con los componentes de aptitud física

El militar de unidades altamente operativas, con frecuentes maniobras, despliegues en el extranjero y misiones de combate, debe dominar diversas destrezas físico-operativas que conforman su perfil de rendimiento, un conjunto de capacidades, habilidades y competencias esenciales para responder eficazmente a las demandas del servicio. La preparación integral permite que el combatiente realice estas tareas específicas, propias de su profesión, contribuyendo al éxito de la misión y garantizando la eficacia operativa de la unidad. Estas actividades, recurrentes en distintos escenarios bélicos u operativos, requieren tanto la preparación física y técnica como el desarrollo de las demás áreas de la formación integral, cuyo dominio refleja que el militar es capaz de responder eficazmente a las demandas del servicio (67,68).

Diversos estudios han clasificado las tareas militares específicas (12,13,16). Algunas propuestas distinguen hasta doce categorías, incluyendo siendo levantar y bajar una vez, levantar y bajar repetidas veces, levantar y transportar, transporte en camilla, empujar y traccionar, arrastre de heridos, cavar, marchar/caminar, moverse rápido, trepar, reptar y una combinación de tres o más tareas (14). Otras clasificaciones más simplificadas agrupan las tareas en seis componentes principales: levantar y cargar, levantar y bajar, escalar, cavar, caminar/marchar/correr, y empujar y traccionar (15). Asimismo, una veintena de expertos lograron identificar las nueve tareas principales militares, siendo saltar obstáculos, moverse con agilidad, cargar y arrastrar cargas pesadas, correr largas distancias, trepar y transportar equipo (16). Entre todas ellas, la más común, relevante y representativa dentro del ámbito militar es la marcha o carrera transportando equipo o material de combate. Así pues, la carrera con carga consiste en recorrer una determinada distancia en el menor tiempo posible a la vez que el militar transporta equipamiento logístico de combate (69,70). Este tipo de tarea específica destaca por integrar simultáneamente numerosos componentes de

aptitud física, pues los militares de unidades de alta movilidad y despliegue deben tener capacidad de respuesta en combate en condiciones de sobrecarga, lo que conlleva una mayor exigencia física, fisiológica y psicológica, una mayor fatiga global y la necesidad de una gran eficiencia metabólica.

Por otra parte, la elevada exigencia de estas tareas específicas que ejecuta y domina personal militar están fuertemente ligadas a ciertas capacidades físicas, siendo imprescindibles para su desempeño en un contexto operativo (71–73). Estas capacidades son clave para que el militar pueda operar con eficacia en entornos exigentes y cumplir con éxito las misiones asignadas, además de que constituyen la base para el desarrollo de destrezas físico-operativas y habilidades biomotoras (74). Para el desarrollo de estas capacidades se requiere una preparación física de amplio espectro, que esté compuesta por capacidades físicas generales y también específicas, junto con otros componentes que conforman la aptitud física del militar (75). Este proceso permite mejorar las destrezas individuales y garantizar que cada miembro de la unidad pueda ejecutar tareas complejas de manera coordinada y eficiente, incrementando la operatividad colectiva de la unidad. Así pues, diversos estudios (15,16,28,29) han identificado las principales demandas fisiológicas y las cualidades físicas necesarias para potenciar las destrezas físico-operativas y las habilidades biomotoras del personal militar, estructurándose en tres bloques:

1. Componentes de aptitud física

- Fuerza muscular — Capacidad de generar tensión máxima frente una resistencia externa.
- Resistencia muscular — Capacidad para mantener esfuerzos repetidos durante tiempo limitado.
- Resistencia aeróbica — Capacidad del sistema cardiorrespiratorio para suministrar oxígeno a los músculos para mantener esfuerzos prolongados.
- Resistencia anaeróbica — Capacidad para mantener esfuerzos intensos durante cortos periodos de tiempo sin presencia de oxígeno.
- Potencia — Capacidad de producir fuerza máxima en el menor tiempo posible.

2. Componentes de las destrezas motoras

- Agilidad — Habilidad para cambiar de dirección y posición del cuerpo con rapidez y control.

• Coordinación	Habilidad para integrar movimientos complejos de forma dinámica y precisa con los sentidos.
• Equilibrio dinámico	Habilidad de conservar la estabilidad estando en movimiento.
• Cinestesia	Percepción espacial del propio cuerpo y su movimiento.
• Ritmo	Aptitud para ejecutar movimientos de forma eficiente.
• Percepción	Habilidad para interpretar estímulos sensoriales y guiar la acción motriz.
• Tiempo de reacción	Intervalo de tiempo entre la aparición de un estímulo y la respuesta motora.

3. Capacidades estructurales

• Tolerancia de carga	Capacidad para soportar esfuerzos repetidos o prolongados sin sufrir daños.
• Flexibilidad	Amplitud de movimiento en las articulaciones, influida por músculos, tendones y ligamentos.
• Equilibrio estático	Capacidad de mantener la estabilidad del cuerpo en posición fija.
• Composición corporal	Relación entre la masa magra y masa grasa, determinante de fuerza relativa, movilidad y resistencia.
• Densidad ósea	Cantidad de tejido mineral por unidad de hueso, indicador de su resistencia estructural.

Como conclusión, el rendimiento operativo del personal militar se fundamenta en una estructura integrada por capacidades físicas, estructurales y habilidades motoras. Esta estructura abarca todos los aspectos relacionados con la preparación físico-militar, posibilitando tanto el desarrollo de las cualidades físicas innatas, como las acciones o destrezas motoras específicas. La correcta integración de todos los componentes de la aptitud física contribuye a que el militar sea capaz de responder con eficacia a las exigencias y desafíos, asegurando la preparación integral necesaria para afrontar los desafíos de los entornos operativos contemporáneos.

2.3.2. Concepto de preparación integral del militar

Ante la creciente profesionalización de los ejércitos y la alta especialización de las tropas en la actualidad, resulta imprescindible que los militares cuenten con una preparación integral, la cual resulta esencial para ejecutar las correspondientes tareas militares específicas en misiones caracterizadas por una gran complejidad y polivalencia (17). Según el manual de Instrucción: Adiestramiento físico-militar de 1996 (62), la preparación integral del soldado se estructuraba equitativamente en tres áreas: la técnica, orientada a la formación y adquisición de conocimientos teóricos; la moral, destinada a fomentar el espíritu aguerrido e implacable ímpetu hacia la victoria; y la física, concebida para fortalecer y dotar de capacidad suficiente para sobreponerse a las dificultades propias del combate. En el manual vigente de instrucción físico-militar de 2015 (76), la preparación se describe como un conjunto de acciones, tanto individuales como colectivas, que capacitan al militar para operar en distintos escenarios del conflicto.

En este sentido, la preparación integral no queda definida por completo, ya que el amplio espectro de los conflictos bélicos contemporáneos abarca múltiples dimensiones que deben ser desarrollas para garantizar que los militares de las unidades estén adecuadamente preparados para afrontar cualquier desafío, incluso en escenarios imprevistos o ante lo desconocido (77). La creciente complejidad de los escenarios bélicos contemporáneos exige que las tropas del Ejército cuenten con una formación amplia, especializada y adaptada a las necesidades cambiantes de los conflictos (18). Por lo que, en primer lugar, se definirá el concepto de preparación integral del militar y, posteriormente, se mostrará una visión general de las áreas que el personal militar debe desarrollar para cumplir los objetivos estratégicos y operativos. A continuación, se describen dichas áreas de preparación:

Así pues, la preparación integral o global del militar puede definirse como el proceso formativo a través del cual se capacita al personal para ejecutar y desempeñar con eficacia sus funciones dentro de la unidad, contribuyendo de este modo al cumplimiento exitoso de la misión encomendada mediante el óptimo desarrollo de diversas áreas (12,76). Este concepto engloba todos los aspectos que el militar, como individuo, debe cultivar con el propósito de estar preparado para afrontar las circunstancias más exigentes, operar en los entornos más complejos y polivalentes, así como vencer al enemigo o superar cualquier desafío dentro del contexto castrense (18). Se trata, en consecuencia, de una formación de amplio espectro, multifacética y multidisciplinar, que cubre los ámbitos necesarios para garantizar el eficaz desempeño de las funciones operativas dentro de su unidad (29), lo cual implica el desarrollo de habilidades biomotoras y destrezas físico-operativas (78). Esta preparación integral no debe concebirse como un proceso estático, pues se debe adaptar y evolucionar conforme las necesidades específicas de la misión de su propia unidad y el entorno en que se desarrolle el conflicto bélico

(12). El último paso de la preparación consiste en la interconexión o integración de las capacidades adquiridas, orientadas a afrontar, combatir y superar conjuntamente las amenazas del campo de batalla. Finalmente, esta preparación integral se estructura en diversas áreas, las cuales se expondrán mediante una situación que permite su comprensión de forma clara.

Ante una situación de combate real, ya sea en el marco de una operación ofensiva o defensiva, el soldado del Ejército requiere un nivel adecuado de condición física que le permita responder eficazmente a las elevadas exigencias del enfrentamiento (30,79). Esto implica la capacidad de resistir de manera prolongada en una misma posición, realizar marchas continuas con el equipo de combate completo, participar en combate cuerpo a cuerpo, atravesar terrenos escarpados, superar obstáculos y recorrer rápidamente distancias cortas para evadir el fuego enemigo, entre otras acciones. En consecuencia, resulta indispensable contar con un amplio de un espectro amplio espectro de componentes de aptitud física que incrementen la operatividad del combatiente (16,80). En este contexto, la preparación física del militar se entiende como el proceso sistemático de desarrollo y mantenimiento de las capacidades físicas necesarias para el cumplimiento eficaz de las funciones militares asignadas. Esta preparación constituye un pilar esencial dentro de la formación integral del militar, pues conforma la base sobre la cual se sustenta el rendimiento operativo en combate, así como la ejecución de tareas militares específicas del servicio castrense. La preparación física del militar se compone de:

A) Preparación física general. Su objetivo es el desarrollo de las capacidades físicas básicas y la consolidación de adaptaciones fisiológicas que permitan sustentar entrenamientos posteriores de mayor intensidad (81). Desde mediados del siglo XX, se reconoce que los reclutas suelen incorporarse a filas con un nivel limitado de condición física (58). Por ello, esta primera fase de la preparación físico-militar resulta esencial, ya que un mejor estado físico reduce la probabilidad de lesión (41), facilita la adaptación a los desafíos y dificultades de la vida castrense, y favorece un mayor rendimiento en los entrenamientos específicos. En esta fase del entrenamiento se emplean diversos métodos de entrenamiento orientados al desarrollo integral de las capacidades físicas presentes en el combate, aunque aún sin priorizar ejercicios propios del adiestramiento militar.

B) Preparación física específica. Comprende el conjunto de entrenamientos diseñados para perfeccionar las capacidades físicas del personal militar correspondientes a las demandas operativas reales (76). De este modo, se asegura la cobertura de las exigencias y requerimientos característicos de las misiones militares en entornos operativos reales. Esta fase del entrenamiento debe realizarse una vez adquirido un nivel adecuado de preparación física general, lo que garantiza la correcta transferencia de las adaptaciones fisiológicas adquiridas hacia

las destrezas motoras implicadas en ejecución de tareas militares específicas (81). En este momento, se incorporan ejercicios propios del entrenamiento militar, con el fin de incrementar progresivamente el rendimiento y la eficacia. Dentro de esta fase encontramos dos aspectos fundamentales:

- Instrucción físico-militar. Está orientada a la preparación individual del soldado en todas sus áreas. Se trata de una especialización del entrenamiento con carácter militar que busca optimizar la condición física del combatiente mediante ejercicio físico y prácticas deportivas de aplicación directa al combate (76). Aunque en esta fase se continua con el desarrollo de las capacidades físicas, su finalidad es incrementar la operatividad del personal en condiciones reales de enfrentamiento (62). Esta instrucción se fundamenta en las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, y se caracteriza por ser un proceso flexible, metódico y sistemático.

- Adiestramiento físico-militar. Está dirigido a la preparación colectiva de la unidad con el fin de aumentar su operatividad conjunta. Esta fase constituye una especialización avanzada del entrenamiento con carácter militar, en la que trabajan coordinadamente las capacidades físicas y las destrezas físico-operativas (62,76). Representa el último paso dentro de la preparación integral del militar, pues en esta etapa se integran todas las áreas o dimensiones de la preparación integral necesarias en el entorno operativo para el cumplimiento de la misión asignada. El adiestramiento físico-militar es la fase final antes de ir a zona de operaciones; por lo que, en este punto, se deberá mantener el rendimiento alcanzado en anteriores fases (76). En ella se ponen en práctica, de manera conjunta, no solo la preparación física, sino todos los conocimientos técnico-tácticos, teóricos, psicológicos, sociológicos, regenerativos y nutricionales implicados en el combate (82). En este ámbito se incluyen maniobras, sesiones de instrucción avanzada, prácticas operativas conjuntas, y otras actividades destinadas a optimizar la capacidad de combate, tanto individual como colectiva, en entornos hostiles y de alta exigencia. De este modo, el adiestramiento físico-militar se constituye como una de las áreas centrales de la preparación integral del personal militar contemporáneo (82). Su finalidad última es el incremento del rendimiento operativo, tanto físico como mental, razón por la cual los objetivos de la planificación del entrenamiento físico deben vincularse estrechamente ejecución del adiestramiento de las unidades (58).

Asimismo, resulta indispensable que el militar posea conocimientos técnicos que le permitan dominar los equipos y dispositivos tecnológicos de telecomunicaciones, los sistemas de mando y control, el manejo de armamento y material de combate, la operación de sistemas electrónicos y sensores de aplicación militar, así como la conducción de vehículos y la utilización dispositivos de

navegación (83). De igual modo, debe contar con competencias de ciberseguridad y guerra electrónica, habilidades para el mantenimiento logístico y técnico de los equipos, y nociones médicas básicas, incluyendo la aplicación de primeros auxilios, entre otros aspectos (84). Así pues, la preparación técnica del militar se entiende como un proceso de capacitación en contenidos teórico-prácticos y operativos que permiten la adquisición y el desarrollo de conocimientos, habilidades y destrezas específicas orientadas al manejo y uso de armamento, equipos, tecnologías y procedimientos propios de cada especialidad dentro de las Fuerzas Armadas. Esta área de la preparación integral posibilita que el personal cumpla sus funciones de manera precisa y eficiente, a través de un conocimiento especializado y actualizado con aplicación directa al ámbito militar (12).

Del mismo modo, el militar debe poseer un conocimiento pleno de la estrategia general, cuyo objetivo final es conducir a la unidad hacia el cumplimiento exitoso de la misión, así como el plan táctico asignado a las escuadras o pelotones implicados en la operación. Este dominio le permite coordinar y unificar acciones colectivas, responder al fuego enemigo de manera conjunta, ejecutar ataques sincronizados y actuar en consonancia con el resto de los miembros de la unidad en el cumplimiento eficaz de las tareas encomendadas y de la misión asignada (85). En este punto, se define preparación táctica al proceso mediante el cual el militar adquiere, desarrolla y perfecciona los conocimientos, habilidades y destrezas indispensables para planificar, ejecutar y evaluar operaciones y maniobras militares, con el objetivo de alcanzar los fines estratégicos y operativos establecidos en el campo de batalla o en misiones específicas (86). Esta área de la preparación integral no solo capacita al militar para el desempeño de sus funciones individuales, sino que también lo habilita para integrarse de manera efectiva en el logro de objetivos colectivos dentro de su unidad, optimizando recursos y contribuyendo a conseguir objetivos comunes (86).

Para enfrentarse a un escenario amenazante, hostil, imprevisible y altamente exigente, en el que la propia vida o la de tus compañeros está en riesgo, resulta indispensable disponer de una sólida fortaleza psicológica (19). Esta debe permitir al militar controlar el estrés, tomar decisiones rápidas bajo presión, gestionar sus emociones mediante la inteligencia emocional y desarrollar la resiliencia para evitar que la fatiga cognitiva, física y el déficit de sueño afecten al rendimiento (87–90). Del mismo modo, debe estar preparado para afrontar situaciones críticas como presenciar la caída de un compañero o sufrir heridas en combate. También, es necesario un proceso de desensibilización ante las acciones bélicas para prevenir secuelas psicológicas a largo plazo, junto con un entrenamiento cognitivo que favorezca la capacidad de priorizar información, interrumpir y reanudar acciones, recibir órdenes en situaciones multitarea, y fortalecer habilidades sociales para aseguren la cohesión de equipo y una adecuada relación con los compañeros de

armas. A ello se suma el desarrollo de una conciencia situacional, que permita identificar con rapidez, precisión y detalla de las amenazas presentes en el entorno, así como la capacidad de tomar decisiones éticas y morales en circunstancias extremas. Bajo estas premisas, surge otra área que compone la preparación integral del militar, la preparación psicológica, la cual se entiende como el proceso mediante el cual el militar adquiere y fortalece competencias mentales y emocionales necesarias para desenvolverse de manera eficaz en entornos operativos hostiles, imprevisibles y altamente demandantes, en los que la vida propia o la de los miembros de la unidad puede verse comprometida (12). Esta área de la preparación integral persigue formar al combatiente para ser capaz de mantener un rendimiento óptimo incluso bajo presión, gestionando correctamente el estrés y las emociones (91), y fortaleciendo la resiliencia como recurso clave frente a la fatiga física, cognitiva y la privación de sueño. Esta área, junto con la preparación física, constituyen los dos grandes pilares para el cumplimiento con éxito de la misión (19).

Otro aspecto fundamental a considerar es contar con una estrategia nutricional, indispensable en el deporte de élite y aún más en el ámbito militar, donde el cumplimiento de la misión puede implicar directamente el riesgo de la vida. En este sentido, cuando se llevan a cabo operaciones militares tras las líneas enemigas o en territorios hostiles, el militar debe ser totalmente consciente de la importancia de proporcionar a su organismo los requerimientos nutricionales necesarios para satisfacer las demandas energéticas y garantizar la correcta ejecución de las tareas encomendadas (92). Resulta imprescindible implementar un timing nutricional que contemple: la fase previa de la misión, para así optimizar las reservas energéticas y preparar al organismo para la actividad; la fase durante la operación, destinada a mantener el rendimiento con los niveles energéticos adecuados mientras se ejecutan las tareas militares; y la fase posterior de la misión, enfocada en una pronta recuperación, garantizando que el militar se encuentre en condiciones óptimas para afrontar nuevas misiones en el menor tiempo posible (93). Así pues, para la consecución de este objetivo, es necesaria una correcta aportación nutricional a través de alimentos que funcionen como combustible para las diferentes vías metabólicas energéticas, manteniendo un balance energético adecuado y ajustando la ingesta macro y micronutrientes, así como de líquidos y electrolitos (93,94). Además, debe complementarse con una suplementación óptima con el propósito de compensar posibles déficits nutricionales y favorecer el rendimiento físico y cognitivo (95). Finalmente, hay que destacar la importancia de una educación nutricional en el personal militar, a fin de que este puede identificar el aporte de nutrientes de los distintos alimentos y aplicar este conocimiento en beneficio de su salud y el rendimiento operativo en escenarios de alta exigencia. Tras lo expuesto, la preparación nutricional debe ser una parte importante de la preparación global del militar. Esta constituye el proceso mediante el cual el militar

adquiere los conocimientos y hábitos necesarios para asegurar un aporte energético y nutricional adecuado, que le permita desempeñar eficazmente sus funciones en escenarios operativos y demandantes. Esta área es esencial para garantizar un nivel óptimo de rendimiento físico y cognitivo adecuado, especialmente en contextos donde la vida propia o la de sus compañeros puede depender del éxito de la misión (12). En síntesis, la preparación nutricional constituye un componente esencial de la preparación integral del militar, al proporcionar la energía, nutrientes y estrategias necesarias para mantener el rendimiento, prevenir la fatiga y optimizar la capacidad de respuesta ante los desafíos operativos en entornos hostiles (12).

El militar requiere también de un óptimo programa de recuperación funcional y operativa, basado en la implementación de técnicas para conseguir un descanso efectivo y en la aplicación de estrategias específicas de recuperación tras la realización de los cometidos asignados. El descanso constituye un pilar esencial para la progresión del entrenamiento y la consolidación de adaptaciones fisiológicas a largo plazo (81), ya que permite la reparación de fibras musculares, la repleción de depósitos de energía, la reducción de fatiga neuromuscular, así como equilibrio hormonal e inmunitario (12). En esta misma línea, el militar necesita estar descansado para rendir en el combate y, posteriormente, descansar para recuperarse del desgaste ocasionado por el mismo. Aunque este principio resulta evidente, su aplicación en el contexto militar suele ser compleja. Para solventar estas dificultades, existen técnicas de relajación fisiológica, como la respiración diafragmática 4-7-8 (96) o determinados ejercicios de relajación que pueden contribuir a solventar dicho problema (97). En este marco, destaca la Ley de Selye o síndrome general de adaptación (98), la cual explica el fenómeno de supercompensación del rendimiento físico que se produce tras la aplicación de un estímulo o esfuerzo fatigante en el organismo, al que le sigue una recuperación progresiva de la capacidad funcional, cuando es alcanzada la homeostasis, que puede prolongarse hasta varios días en función de la intensidad y carácter del estímulo. No obstante, puede producirse una extralimitación o agotamiento, sin señales perceptibles de mejora del rendimiento, si la carga de entrenamiento es excesiva o el proceso de recuperación no ha sido el correcto (99). Por ello, las estrategias de recuperación desempeñan un papel muy importante al facilitar la disipación de la fatiga, acelerar la recuperación y, por consiguiente, la compensación del rendimiento (100–102). Entre estas estrategias se incluyen ejercicios de estiramiento y de recuperación activa, los automasajes y terapias regenerativas, la implementación de estrategias nutricionales (103), así como el control de las variables del entrenamiento para garantizar un correcto equilibrio entre la carga y la recuperación (104). Surge así la preparación regenerativa, definiéndose esta como el proceso mediante el cual se optimiza la recuperación del personal militar tras la realización de esfuerzos propios del servicio militar, tras incorporar hábitos y estrategias para. Este es un componente esencial de la

preparación integral del militar, el cual permite restablecer la capacidad funcional y operativa del militar con rapidez, garantizando las mejores condiciones para la ejecución de actividades posteriores (12).

Finalmente, el militar requiere una formación intelectual, cognitiva o teórica, indispensable para completar su preparación integral. Esta dimensión posibilita la comprensión de los conocimientos teóricos sobre los aspectos que completan su preparación, al tiempo que desarrolla una cultura general y operativa amplia (105,106). En ella se incluyen aspectos como el conocimiento de los diferentes escenarios hostiles, los procedimientos operativos y de seguridad, así como la normativa internacional aplicable. También abarca competencias relacionadas con la comunicación y síntesis de la información, el manejo de herramientas digitales y tecnológicas, y la aplicación de técnicas de resolución de problemas en entornos complejos (107). Del mismo modo, se requiere tener información reservada de inteligencia vinculada al enemigo, al entorno o a cualquier otro aspecto determinante para el éxito de la misión. De este modo, aparece la preparación intelectual, que puede definirse como el proceso mediante el cual el militar adquiere conocimientos teóricos sobre los distintos factores que afectan el desempeño operativo (12).

En definitiva, la preparación integral del militar resulta ser un proceso multidimensional esencial dentro de la doctrina militar contemporánea, orientada a formar al personal militar en diversas áreas interconectadas, física, técnica, táctica, psicológica, nutricional, regenerativa e intelectual, con el propósito de garantizar un rendimiento operativo óptimo en entornos hostiles, complejos y cambiantes, así como el cumplimiento exitoso de la misión. De este modo, la preparación integral no solo fortalece las capacidades individuales del militar, sino que aumenta la eficacia colectiva de la unidad, ofreciendo mayor efectividad y potencia operativa.

2.3.3. Entrenamiento militar en España: análisis y evolución

La instauración de academias y escuelas como centros de formación militar en España no solo impulso la educación física dentro del Ejército español, sino que supuso un gran avance tanto en el ámbito civil como en el militar. Tras la crisis del 1898 y los diversos conflictos internos de país, la preparación militar adquirió importancia como respuesta a las derrotas en combate, con el fin de aumentar la moral de las tropas, fortalecer la disciplina y garantizar una preparación operativa (9,108). El pionero que introdujo la gimnasia y, por ende, quien inició la educación física militar en España, fue el Coronel Francisco de Amorós y Ondeando nació en Valencia en 1770 y considerado un gran referente para la preparación física militar española durante todo el siglo XIX (109). Entre las figuras destacadas que contribuyeron a la difusión de sus enseñanzas se encuentran los Oficiales José

María Aparici y Biedma y Francisco Aguilera y Becerril, quienes viajaron a Francia, donde conocieron a Amorós (7). En los años posteriores, transmitieron los conocimientos adquiridos y aplicaron la metodología de Amorós en diversos gimnasios, proponiendo la utilización de aparatos y de máquinas específicos para la instrucción militar. Aparici, por su parte, realizó diversas traducciones del reglamento de la gimnasia en 1852, considerándose el primero en España aplicado al Ejército (110), con el propósito de estandarizar su práctica en las Unidades del Ejército español. Esta metodología y sus ejercicios correspondientes ganaron popularidad y, con amplia aceptación, se incluyeron paulatinamente en los programas formativos de las academias del Ejército español, integrando ejercicios de gimnasia con aplicación militar (111). Asimismo, empiezan a elaborarse los primeros manuales que regulan la implementación de ejercicios gimnásticos, como el *Manual de Táctica para Infantería* de 1881 (112) y el *Manual para las clases de tropa* de 1893 (113), cuyos objetivos eran flexibilizar y fortalecer al cuerpo, además de pulir malos hábitos, similares con los manuales publicados posteriormente.

Años más tarde, en 1919, el Excmo. Sr. General de División D. José Villalba Riquelme fundó la ECEF, ubicada en Toledo, que tiene como misión principal impartir formación especializada al personal militar responsable de la educación física, con ámbito de actuación que abarca todas las Fuerzas Armadas españolas (114). Esta institución de referencia en el ámbito militar y con más de cien años de trayectoria impecable, representó un avance significativo en el desarrollo de la educación física militar, formando a profesores de educación física desde 1920. En sus orígenes, la ECEF tuvo dos ámbitos de actuación: el primero, impartiendo educación física gimnástica dirigida al colectivo infantil civil hasta la década de 1960, tras la creación del Instituto Nacional de Educación Física (INEF), surgiendo así la Cartilla Gimnástica Infantil que sirvió como modelo para el programa formativo de los colegios de la época; y el segundo, la educación física orientada específicamente al Ejército (11,111).

En la década siguiente se constituyó el actual Consejo Superior del Deporte Militar (CSDM), que adoptó su vigente nombre en 2018 sustituyendo al Consejo Superior de Educación Física y Deportes de las Fuerzas Armadas (CSEFDFAS), creado en 1979, dos años más después de la unificación de las Fuerzas Armadas españolas (114). Su función principal consiste en coordinar la educación física y el deporte en las Fuerzas Armadas españolas y el Cuerpo de la Guardia Civil, dirigiendo actividades de alcance nacional, internacional y entre ejércitos. Por último, conviene mencionar el Consejo Internacional del Deporte Militar (CISM), fundado en 1948 en Francia, al que España se incorporó en 1953. Actualmente está compuesto por 140 países y su objetivo es la promoción de la actividad deportiva y la educación física entre las Fuerzas Armadas, como herramienta para alcanzar la paz mundial. En esta misma línea, en 2024 se ha aprobado el Plan Integral de la

Actividad Física y el Deporte en las Fuerzas Armadas, que busca disminuir el sedentarismo y la obesidad, y fomentar hábitos saludables.

Con la aparición de la ECEF en 1919, surgieron publicaciones que regularon la educación física en todo el Ejército español, fundamentadas en la gimnasia sueca, con el objetivo de sistematizar y estructurar el entrenamiento y, con ello, potenciar las capacidades y destrezas físicas con aplicación directa al combate en las tropas españolas. Por lo que, la transformación e implementación de la preparación físico-militar en los siglos XX y XXI en España se tratará con mayor profundidad analizando tres manuales de adiestramiento e instrucción físico-militar (Figura 1), con el fin de observar su transformación a lo largo de estos años y la consolidación de programas de entrenamiento sistematizados, estandarizados y racionales.

Figura 1. Portadas de los manuales de adiestramiento e instrucción físico-militar del Ejército español analizados.



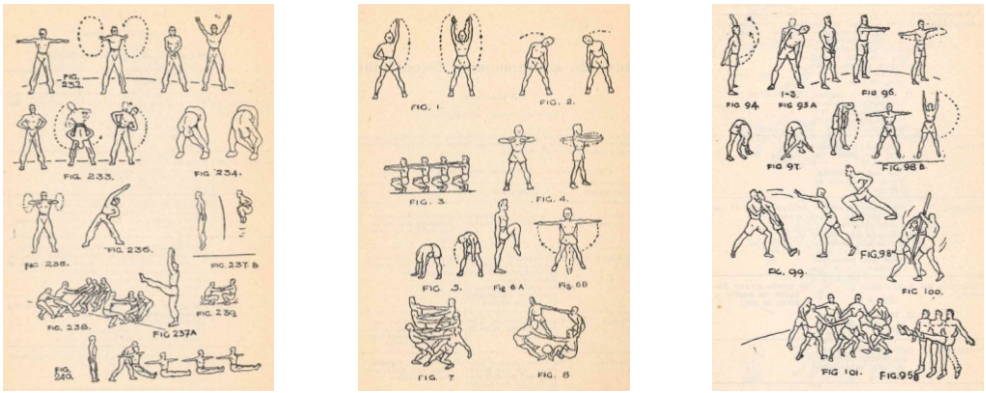
En 1954, en Madrid, fue publicado el *Plan de adiestramiento físico-militar (tablas)* (58), por la Junta Central de Educación Física, Estado Mayor Central, Ministerio del Ejército. Este manual ha sido seleccionado para su análisis debió a que refuerza metodologías previas y proporciona tablas de ejercicios con multitud de variantes en función a los objetivos trabajados. En él, se abordó las necesidades del soldado en lo que respecta a la preparación para el combate, estableciendo un método para que los reclutas, recién llegados a filas y con escasa o nula formación previa de educación física, adquieran aptitud, moral, presencia y desarrollen habilidad y destreza necesarias para la guerra. Las seis tablas que conforman el plan incluyen numerosos ejercicios, permitiendo confeccionar multitud de sesiones de entrenamiento o "lecciones" con el objetivo de desarrollar "cualidades físicas" o capacidades físicas en las tropas. Estas cualidades son la fuerza, el endurecimiento y la resistencia, la agilidad, la habilidad y la velocidad, y junto con conocimiento de defensa personal.

El plan de adiestramiento físico-militar de 1954 (58) sigue una progresión racional en lo relativo a dificultad técnica y exigencia física, estructurando sesiones

de entrenamiento sistemáticas y estandarizadas de 40 minutos de duración. Cada sesión se compone de tres partes:

1) Ejercicios localizados, de soltura y flexibilidad, inspirados en la gimnasia sueca, cuyo objetivo en aumentar la movilidad articular y flexibilidad global, preparar al cuerpo para la actividad (calentamiento), incrementar la respiración y la circulación, y aportar vivacidad y alegría a través de juegos (Figura 2).

Figura 2. Ejercicios localizados del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954.



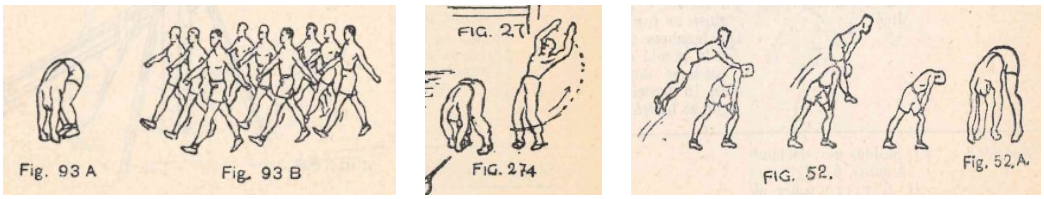
2) Ejercicios utilitarios libres, repartidos en tres categorías: a) Ejercicios de fuerza, orientados al desarrollo los principales grupos musculares, como brazos, piernas y tronco, con el objetivo de que tengan una transferencia positiva para realizar ejercicios de empuje, tracción, y levantamiento o transporte de pesos. b) Ejercicios de endurecimiento, exigentes físicamente y fundamentales para el combate, con un método progresivo y sistemático, desarrollan la voluntad y fortalecen el estado físico. Estos se desarrollan mediante carreras y marchas forzadas. c) Ejercicios de agilidad, destreza y velocidad, subdivididos en: c1) agilidad, tanto mental como física, para moverse y superar obstáculos con rapidez y facilidad, escalar muros, trepar por una cuerda o reptar por una trinchera; c2) destreza, de gran utilidad para el soldado, esencial para el buen manejo de las armas y desarrollo de habilidades coordinativas, como la conducción precisa de vehículos o el lanzamiento de granadas; y c3) velocidad, destinada el desarrollo de los reflejos motores, la velocidad de reacción y el tiempo en realizar carreras menores a 100 metros, con el propósito de a aumentar la precisión con armas de fuego, el salto, el franqueamiento, el equilibrio, etc. Por último, los ejercicios de defensa personal y combate cuerpo a cuerpo eran de gran utilidad y necesarios tanto para elevar la moral del individuo como para el combate cercano (Figura 3).

Figura 3. Ejercicios utilitarios libres del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954.



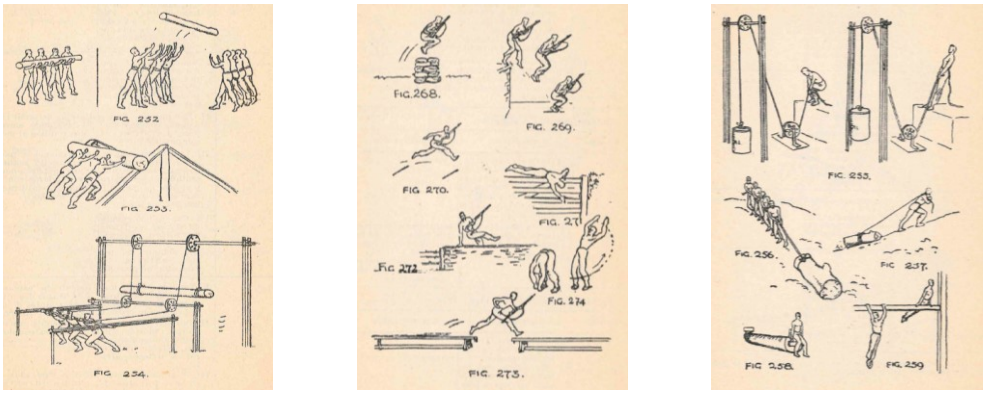
3) Ejercicios calmantes o finales, diseñados para disminuir las pulsaciones, relajar la musculatura, y fomentar la actitud militar (Figura 4).

Figura 4. Ejercicios calmantes o finales del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954.



La metodología impartida se basaba en el mando directo, donde el Instructor desempeñaba un papel al ejecutar los ejercicios, mientras que el resto replicaba sus movimientos. Se enfatizaba la necesidad de dotar a las sesiones de vivacidad y alegría, con el fin de hacerlas más amenas y atractivas para los reclutas. Las sesiones se realizaban preferentemente con el torso descubierto o con camiseta, dependiendo de las condiciones climáticas, acompañadas de pantalón corto y alpargatas. Se observa que los ejercicios propios de las primeras tablas son mayoritariamente calisténicos, utilizando el peso corporal, o bien la fuerza y ayuda de un compañero. Progresivamente, se empiezan a introducir elementos como cuerdas, balones medicinales, sacos u objetos pesados, bancos o barras, saltos. Y, a partir de la cuarta tabla, se incorporan ejercicios de mayor intensidad, empleando troncos, munición, objetos pesados o el peso corporal de otro compañero, aumentando la fortaleza muscular y capacidad de resistencia de los soldados (Figura 5).

Figura 5. Ejercicios utilitarios libres avanzados del Plan de adiestramiento físico-militar de 1954.



Aunque se publicaron otros manuales y documentos entre medias, el *Manual de Instrucción. Adiestramiento físico-militar (MI7-007)* de 1996 (62), del Mando de Adiestramiento y Doctrina, Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales del Ejército de Tierra español, recopiló y actualizó las principales directrices de las publicaciones comprendidas en este periodo.

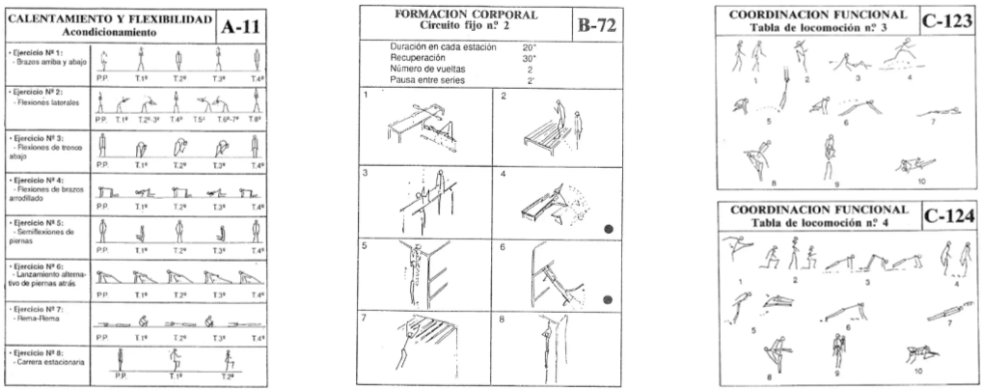
Este manual contiene información considerablemente más extensa y detallada sobre los diversos aspectos concernientes a la preparación del combatiente. A grandes rasgos, desde sus primeras páginas se aborda el concepto de la "instrucción integral" para las tropas, la cual se fundamenta en la instrucción técnica, física y moral. La premisa central es que, si una de las tres falla, no podrá lograrse la efectividad total en el combate. También se define el concepto de "instrucción físico-militar" como una parte integral dentro de la instrucción militar, regida por principios, procedimientos y normas que regulan su desarrollo y que emplea como herramienta el ejercicio o actividad física de manera sistemática y racional para la mejora de la condición física y psíquica del militar. Su objetivo fundamental es garantizar el éxito de la tarea encomendada y, en consecuencia, asegurar el cumplimiento de la misión asignada, constituyendo, en esencia, la mejora de la preparación física del personal militar. Esta se fundamenta en el campo científico, adaptando sus conocimientos al ámbito militar, con el propósito de preparar al personal militar en su totalidad, integralmente. Para ello, se implementan ejercicios de gimnasia de aplicación militar que mejoren las capacidades físicas de las tropas y así garanticen el cumplimiento con éxito las misiones encomendadas.

Dado que los materiales e instalaciones deportivas eran casi siempre escasos, los entrenamientos se adaptaban a la variedad de medios disponibles. El programa abarcaba deportes civiles, juegos, deportes militares, ejercicios propios de cada unidad y actividades físicas sistemáticas, todas destinadas a potenciar el

rendimiento individual del individuo, mejorando la fuerza, resistencia, agilidad y coordinación, lo que en definitiva repercutía favorablemente a la operatividad de la unidad militar. Se mencionan principios del entrenamiento, tales como la progresión, sobrecarga, variedad, equilibrio, regularidad, especialidad, relación, motivación, e individualización. Dicho programa se componía de cinco sesiones de entrenamiento semanal de al menos 60 minutos, de los cuales 50 son de tiempo efectivo, y se describen tres tipos de sesiones:

1) Sesión Tipo de instrucción físico-militar, compuesta por tres partes: a) calentamiento y flexibilidad, cuyo objetivo es activar los sistemas fisiológicos del organismo, preparándolos adecuadamente para la actividad, así como aumentar la flexibilidad y movilidad articular. Los ejercicios pueden realizarse sin material o con fusil. b) Formación corporal, que tiene el propósito de fortalecer y desarrollar los grandes grupos musculares y articulaciones, tales como brazos, tronco y piernas. Se emplean ejercicios de mayor intensidad, ejecutados durante 30 segundos, con recuperaciones de igual duración. Se realizan entre 2-3 series, con descansos de 2 minutos entre series. Estos se organizaban en diversos tipos de circuitos, tales como, de formación corporal, de manos libres en formación circular, de manos libres estático, con fusil, por parejas, con móviles, balones, pesas, diversos como bancos, cuerdas, ruedas; circuitos fijos, constituidos por una serie de aparatos gimnásticos fijos al terreno para ejercitar en ellos, etc. c) Coordinación funcional, comprende ejercicios de carácter funcional, general y complejo, diseñados para el desarrollo de capacidades físicas como la coordinación, la velocidad, la agilidad, y la resistencia cardiorrespiratoria. Entre ellos se incluyen ejercicios como: c1) carrera fraccionada, c2) carrera campo a través, c3) carrera con cambios de ritmo, c4) tablas de locomoción, c5) destrezas gimnásticas, enfocadas en la mejora de la potencia del tren inferior, la movilidad, la velocidad contráctil, la coordinación funcional y el equilibrio, a través de ejercicios de agilidad y de salto; c6) juegos, mediante actividades gimnásticas en los que se compite entre 2 o más equipos; y c7) luchas, de corta duración, pero muy intensas y competitivas, cuyo propósito era desarrollar la voluntad de vencer y la agresividad, además de la fuerza, potencia y la coordinación para el combate cuerpo a cuerpo (Figura 6).

Figura 6. Sesión Tipo de instrucción físico-militar del Manual MI7-007 de 1996.

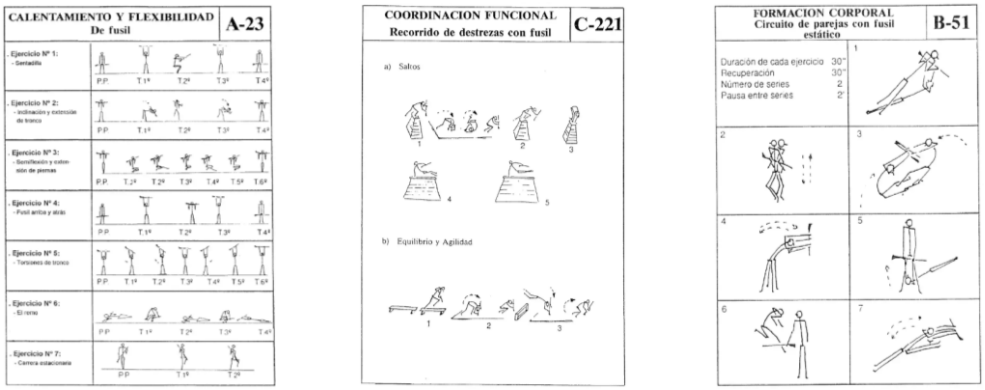


2) Sesión de endurecimiento, cuyo objetivo es la mejora de la resistencia tanto aeróbica como anaeróbica. Se distinguen dos modalidades: a) Sesión de entrenamiento total, se estructura en tres bloques de 15 minutos cada uno. El primer bloque se centra en ejercicios de flexibilidad, el segundo en ejercicios de velocidad y el tercero en ejercicios de fuerza organizados en circuitos con intervalos (Figura 7). b) Sesión entrenamiento total de aplicación al combatiente, similar a la anterior, pero realizada con fusil y uniforme de combate. También se divide en tres bloques de 15 minutos cada uno, realizándose en el primero ejercicios con fusil, en el segundo ejercicios de velocidad de desplazamiento y reacción, mediante saltos y cambios de ritmo, y en el tercero un circuito de ejercicios de fuerza con fusil (Figura 8).

Figura 7. Sesión de endurecimiento: sesión de entrenamiento total del Manual MI7-007 de 1996.

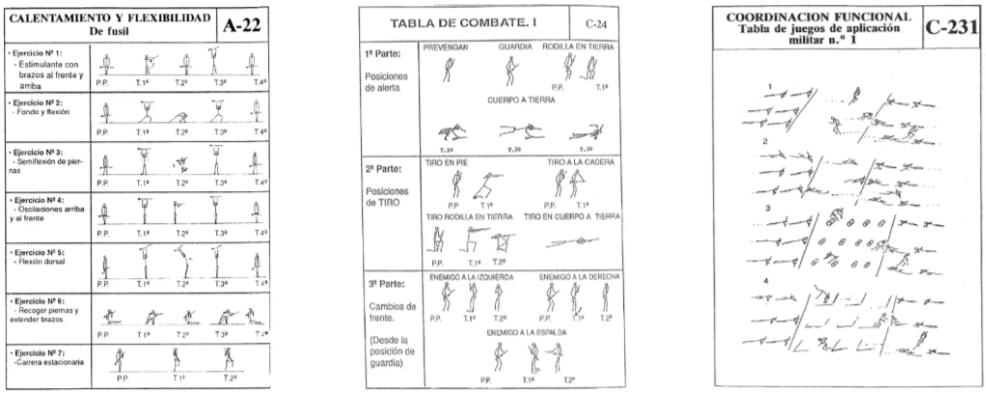


Figura 8. Sesión de endurecimiento: sesión de entrenamiento total de aplicación al combatiente del Manual MI7-007 de 1996.



3) Sesión de combate, en la que se realizan ejercicios basados en la "gimnasia de aplicación militar" que potencian las destrezas físicas necesarias para el combate y que conducen al éxito y al cumplimiento de la misión. Estas sesiones se realizaban en el campo de maniobras o áreas de instrucción, con una estructura de tres partes: a) calentamiento, entre 5 y 10 minutos; b) fuerza, entre 15 y 20 minutos, realizando la tabla de combate; y c) funcional, entre 20 y 30 minutos, entrenando los gestos básicos de combate. Todas estas sesiones concluían con una parte destinada a la vuelta a la calma, cuyo objetivo era bajar la intensidad del ejercicio realizado previamente y volver a valores fisiológicos normales (Figura 9).

Figura 9. Sesión de combate del Manual MI7-007 de 1996.



En el manual afirma que el diseño de un único programa de entrenamiento para todas las unidades no sería operativo, ya que podría ser excesivo para algunas y, en cambio, insuficiente para otras. Cada unidad posee misiones y competencias específicas y, por ese motivo, el manual se limita a "orientar" sobre objetivos físico-didácticos del programa de instrucción físico-militar. De forma posterior, al diplomado de cada unidad le corresponde elaborar el plan de instrucción adaptado

a sus necesidades y atendiendo a ciertas cualidades esenciales: unidad, continuidad, flexibilidad, precisión, realismo, calidad y sencillez y globalidad.

Además, el manual propone una periodización del entrenamiento de nueve meses, dividida en tres periodos de dificultad progresiva, siendo: a) Periodo físico básico, orientado al aumento de las capacidades físicas básicas para sustentar el trabajo de mayor intensidad que se realizará más adelante. b) Periodo físico específico, destinado a continuar desarrollando dichas capacidades, haciendo énfasis en las que tengan transferencia y aplicabilidad militar. c) Periodo físico de adiestramiento/mantenimiento, centrado en mantener o incrementar el rendimiento alcanzado en el periodo anterior. Por otra parte, el manual contiene un breve apartado destinado a ejercicios de fuerza tradicional, similares a los realizados en los gimnasios convencionales, indicando que el peso levantado debe permitir realizar un número elevado de repeticiones, con una velocidad de ejecución entre lenta y moderada para evitar la inercia. Este apartado también incluye nociones básicas de fisiología del ejercicio y prevenciones médicas.

Como consideraciones generales, el manual de 1996 (62) aborda de manera más amplia y detallada la preparación físico-militar en comparación con manuales anteriores, cuyo propósito era aumentar el rendimiento operativo en el combate. Resulta evidente apreciar en este texto la incorporación de aportes procedentes de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, tales como los principios del entrenamiento, una metodología más sólida y estructurada, la periodización del entrenamiento en tres periodos, breves nociones básicas sobre fisiología del ejercicio, así como la inclusión de pruebas de evaluación de la aptitud física más completas, posiblemente debido a la entrada en vigor en 1981 de las pruebas de aptitud física en el Ejército. Si bien este manual representa un avance significativo en la sistematización y fundamentación científica de la preparación físico-militar, también presenta ciertas limitaciones importantes con respecto al tipo y selección de ejercicios, diseño y propiedades de las sesiones, configuración de las variables del entrenamiento, material deportivo utilizado, diseño de la planificación y periodización. En cualquier caso, este manual de 1996 constituye un avance importante hacia una preparación físico-militar más sólida y profesionalizada, aunque todavía con un largo camino por recorrer para alcanzar estándares acordes a las demandas reales actuales.

Por último, el *Manual de Instrucción. Instrucción físico-militar. Tomos I y II (MI-003)* de 2015 (76), del Mando de Adiestramiento y Doctrina, Dirección de Enseñanza, Instrucción, Adiestramiento y Evaluación del Ejército de Tierra español, es el libro vigente del Ejército español sobre la preparación físico-militar. En el manual se menciona la preparación global del militar, aunque sin especificar

sus partes, únicamente se centra en la preparación física. Presenta una ampliación notable con respecto a su manual predecesor sobre todo lo referente a la planificación y periodización del entrenamiento, aunque a nivel genérico. Continúa apoyándose en las directrices que daban manuales anteriores, con el foco puesto en mantener la tradición. Se hace una diferenciación terminológica entre: "instrucción", la preparación individual del militar, y "adiestramiento", preparación de la unidad, y se mantiene el término "instrucción físico-militar" para referirse a la preparación física y psicológica, la educación física en términos generales, del personal militar. Expone dos tipos de sesiones: 1) Sesión modular de actividades físicas sistemáticas, la cual sustituye a la sesión Tipo de 1996. Es un tipo de sesión que, por su generalidad y variedad, es idónea para el acondicionamiento físico general y etapas iniciales de instrucción o entrenamiento físico, pudiéndose realizar dos sesiones seguidas. Además, esta se compone de un calentamiento, una formación corporal, una coordinación funcional y una vuelta a la calma. Y 2) sesión específica de actividades únicas, basada en el trabajo específico de los sistemas de energía solicitados y en los grupos musculares implicados, y compuesta por a) sesión de endurecimiento, diseñada para desarrollar una sola capacidad específica en la sesión; b) sesión de deportes militares, para aumentar la destreza en el combate mediante la ejecución de numerosos gestos de aplicación militar; y c) sesión de recuperación, con el fin de darle al cuerpo el descanso necesario para adaptarse al estímulo, procesos regeneradores de la fatiga, y que se produzca supercompensación. También, divide los componentes de aptitud física en: a) cualidades estructurales: flexibilidad, fuerza y resistencia; b) cualidades neurales: equilibrio, agilidad, coordinación y precisión; y c) cualidades mixtas: velocidad y potencia.

En definitiva, el presente manual ofrece directrices más específicas y desarrolladas que su predecesor en lo relativo a la periodización del entrenamiento y al desarrollo de los componentes de la aptitud física mediante una mayor especificidad en las características de las variables del entrenamiento. Asimismo, este manual mantiene el enfoque de consulta y referencia para las unidades del Ejército. Su finalidad es facilitar que el especialista de cada unidad, responsable de la preparación física, diseñe la planificación anual de entrenamiento en estrecha coordinación con el calendario de maniobras y prácticas militares de la unidad.

2.3.4. Alternativas contemporáneas al entrenamiento militar tradicional

Los militares requieren de un amplio espectro de componentes de aptitud física con el fin de optimizar su operatividad, ya que realizan tareas y actividades de naturaleza muy diversa, que van desde recorrer largas distancias, saltar, arrastrar o superar objetos, hasta desplazarse rápidamente en distancias cortas,

levantar cargas pesadas o transportar equipamiento (13,16). En base a esto, el entrenamiento militar se ha caracterizado principalmente por exigir altas demandas aeróbicas, mediante ejercicios continuos de elevado volumen y baja intensidad prolongados en el tiempo (20). Con el propósito de desarrollar estas capacidades físicas y habilidades biomotoras, las metodologías tradicionales de entrenamiento militar han priorizado el trabajo aeróbico continuo de alto volumen y baja intensidad, con escasos periodos de recuperación (20), relegando el entrenamiento de fuerza y potencia muscular, componentes vitales para el trabajo que desempeñan (26). A largo plazo, este tipo de enfoque puede derivar en una disminución de los niveles de fuerza, limitar la adecuada adquisición de adaptaciones neuromusculares y aumentar la probabilidad de lesión (26). Asimismo, la vida castrense mantiene elevados niveles de estrés, lo cual produce un desequilibrio en el estado de estrés-recuperación, dificultando la progresión del entrenamiento, incrementando el riesgo de lesiones y disminuyendo la operatividad en el desempeño de tareas militares debido al agotamiento prematuro (20,115).

Numerosos estudios han determinado las demandas físicas y fisiológicas predominantes en militares, concluyendo que se precisa de un perfil de rendimiento elevado y equilibrado entre la adquisición de fuerza y resistencia (20,21,28). Se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza no solo incrementa las capacidades anaeróbicas relacionadas con la fuerza y potencia, sino que también consigue beneficios para la salud y disminuye el riesgo de lesión (116). Sin embargo, el diseño de un método de entrenamiento que desarrolle simultáneamente estas dos capacidades físicas básicas, fuerza y resistencia aeróbica, dentro un contexto militar representa un desafío considerable (21). Frente a esta necesidad, los avances en fisiología y metodología del ejercicio posibilitan el diseño de programas y métodos precisos y eficaces orientados a integrar ambos objetivos (21). En este sentido, el entrenamiento concurrente se posiciona como una estrategia viable y eficiente, ya que optimiza el tiempo de entrenamiento y promueve adaptaciones fisiológicas de diversa índole, tanto neuromusculares como metabólicas, en menos sesiones de entrenamiento (23,117,118). Además, esta modalidad de entrenamiento se adapta a las demandas del entorno militar, favoreciendo una transferencia positiva al rendimiento operativo (21).

El entrenamiento concurrente tradicional comprende la combinación de entrenamiento de fuerza y resistencia a diferentes intensidades (119). Bajo este concepto, se puede definir como la combinación de un protocolo de entrenamiento de fuerza con otro de resistencia dentro de un mismo régimen de entrenamiento (120), o bien la inclusión de un entrenamiento de fuerza en un entrenamiento de resistencia dentro de un mismo programa de entrenamiento (121). Numerosos estudios han demostrado que el entrenamiento concurrente puede conseguir

adaptaciones significativas y simultáneas de ambas capacidades, fuerza y resistencia, constituyéndose así como una alternativa óptima para mejorar el rendimiento en contextos de la preparación físico-militar (13,20,21).

Surgen así diversos enfoques metodológicos que persiguen incrementar tanto la fuerza como la resistencia dentro de mismo programa de entrenamiento. Entre ellos, el entrenamiento en circuito de fuerza se basa en la realización de ejercicios de fuerza de distintas partes del cuerpo a baja intensidad, altas repeticiones y reducidos descansos; aunque esta configuración implica una mayor demanda del sistema cardiorrespiratorio en comparación con otras metodologías (122). Otra propuesta válida es el entrenamiento basado en circuitos de alta intensidad, que consiste en la ejecución de ejercicios para distintos grupos musculares a alta intensidad (~85 %) (123), el cual ha demostrado ampliamente su efectividad (123–125). Ambas propuestas son variaciones del entrenamiento concurrente válidas de aplicar en un contexto militar para mejorar el rendimiento físico. No obstante, dicho programa de entrenamiento debe ser periodizado (126–128) con el fin de que se desarrollen de manera progresiva las diferentes capacidades físicas con resultados sostenibles a largo plazo.

2.3.5. Limitaciones y dificultades en la configuración del entrenamiento militar contemporáneo

A la hora de diseñar un programa de entrenamiento e implementarlo en el ámbito militar, existen ciertas limitaciones que pueden dificultar su efectividad real. En comparación con los deportistas de alto rendimiento, los cuales se centran por lo general en maximizar una o dos capacidades físicas, el personal militar de unidades altamente operativas debe desarrollar de forma simultánea varias de ellas, en condiciones desfavorables y con limitación de tiempo y recursos (12,16,30). En paralelo, deben seguir estando operativos a disposición de su unidad, realizando maniobras, prácticas y tareas militares cuando el deber lo requiera. Y a esto se le suma los obstáculos metodológicos, con falta de fundamentación científica en algunos manuales, escasa individualización de la carga de entrenamiento y riesgo de sobreentrenamiento. El gran volumen de entrenamiento aeróbico junto a las prácticas, tareas militares específicas y maniobras, sumado al entrenamiento de las capacidades anaeróbicas de fuerza y potencia, y todo eso envuelto en un ambiente militar de estrés, produce un desequilibrio en el estado de estrés-recuperación que dificulta la correcta progresión en el entrenamiento, aumentando el riesgo de lesión y disminuyendo la operatividad en el desempeño de tareas militares debido al agotamiento prematuro (20,115). En este contexto, el militar presenta dificultades añadidas en la consecución de adaptaciones simultáneas de fuerza y resistencia aeróbica. Factores como el fenómeno de interferencia a nivel molecular (24) o la dificultad de manipular las variables del

entrenamiento (129) que aumentan las posibilidades de sobreentrenamiento, pueden estancar o atenuar el rendimiento físico y operativo o causando lesión. Todo ello puede conllevar bajas laborales, pérdida de tiempo de servicio y, con ello, daños económicos y pérdida de potencia militar (17,27).

2.3.5.1. Fenómeno de interferencia

Cuando se desarrollan simultáneamente dos o más capacidades físicas, cabe la posibilidad de que una repercuta negativamente en la otra. Esto se ha observado frecuentemente cuando se combinan entrenamientos de resistencia aeróbica y fuerza en un mismo programa de entrenamiento, lo que llamó la atención de investigadores de todas partes del mundo. Dado que los militares requieren de un importante desarrollo de estas dos capacidades físicas para desempeñar sus funciones eficazmente, resulta de suma importancia la evidencia científica que gira en torno a este concepto.

El fenómeno de interferencia en el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia tiene sus orígenes en 1980, cuando Robert C. Hickson con su pionera investigación (24) evaluó distintos protocolos de entrenamiento. En el mencionado estudio, se realizaron tres grupos experimentales: el primero de ellos con un entrenamiento de fuerza que realizaba 5 sesiones semanales consistentes en tres ejercicios de 3 a 5 series de 5 RM (repeticiones máximas) y alternando con días en los que se ejecutaban un ejercicio de 3x5 RM y otro de 3x20 RM, además de ejercicios de fortalecimiento de core; un segundo grupo de resistencia enfocado en resistencia, que entrenaba seis días por semana mediante intervalos de 6x5 min a intensidad de VO_2máx, sumado a 30 minutos de carrera continua al ritmo más rápido posible, en días alternos; y un tercer grupo que combinaba ambos protocolos el mismo día, con un intervalo de recuperación de 2 horas entre las sesiones de fuerza y resistencia. Los resultados de este estudio mostraron que el grupo que realizó el entrenamiento combinado de fuerza y resistencia experimentó una disminución significativa en las ganancias de fuerza, en comparación con los grupos que entrenaron solo fuerza y resistencia de forma aislada. Sin embargo, el desarrollo de la capacidad aeróbica, mediante el incremento del consumo máximo de oxígeno (VO_2máx), no se vio afectado. Estos hallazgos dieron lugar al fenómeno de interferencia (24), entendido como la inhibición de adaptaciones específicas del entrenamiento de fuerza al combinarse con el entrenamiento de resistencia, en comparación con el trabajo aislado de fuerza y/o resistencia (130).

Diversos estudios (131–133) han postulado que las adaptaciones fisiológicas derivadas del entrenamiento de fuerza y resistencia son, en cierta medida, antagónicas, limitando así su desarrollo simultáneo. No obstante, pese a más de cuatro décadas de investigación, persiste una notable controversia en la literatura científica debido a la heterogeneidad de los protocolos de entrenamiento

empleados en los distintos estudios, lo que dificulta la extracción de conclusiones generalizables (134,135). En este contexto, el análisis de la evidencia acumulada sugiere que la realización de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia con altos volúmenes, intensidades y frecuencias semanales podría ser un factor determinante en la aparición del fenómeno de interferencia debido al considerable daño ocasionado en el músculo esquelético (121,130). Este fenómeno no solo se ve influido por la carga total de entrenamiento, sino también por la manipulación de las variables del entrenamiento, volumen, intensidad y densidad intra e inter-sesión (129), así como otros aspectos relacionados con la configuración del entrenamiento, tales como el tipo de estímulo, su distribución temporal (en días distintos o en el mismo día o en la misma sesión), y el orden en que se ejecutan los entrenamientos de fuerza y resistencia (136). Asimismo, factores no directamente relacionados con el entrenamiento, como el nivel de condición física de los sujetos o su edad (137), pueden también influir en la manifestación y magnitud del fenómeno de interferencia.

En el marco del entrenamiento concurrente y el fenómeno de interferencia, numerosas hipótesis respecto al sobreentrenamiento han sido abordadas, aunque ninguna ha logrado explicar de forma integral todas sus causas (138). Entre las principales propuestas se encuentran la hipótesis de las citoquinas, la cual plantea que el sobreentrenamiento podría ser consecuencia de una inadecuada adaptación fisiológica al excesivo estrés fruto del desequilibrio entre la carga de entrenamiento y descanso (139,140). Otra teoría es la hipotalámica, la cual atribuye el sobreentrenamiento a alteración en los ejes hipotálamo-hipófisis-suprarrenal e hipotálamo-hipófisis-gonadal (141–143). Del mismo modo, otras explicaciones se han considerado, como la hipótesis de la glutamina (144), del glucógeno (145), de la fatiga central (99,146), del sistema nervioso autónomo (141) o del estrés oxidativo (147), las cuales podrían contribuir al estancamiento o atenuación del rendimiento deportivo. No obstante, estas hipótesis coinciden en que se produce un desequilibrio anabólico-catabólico del organismo, provocado por una incorrecta gestión o planificación del entrenamiento y la recuperación, que impiden consolidar adaptaciones neuromusculares y musculoesqueléticas.

Numerosos autores confirman que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia genera una fatiga significativa. El modelo publicado en el año 2000 (119), el cual establece la intensidad del entrenamiento de fuerza y de resistencia con más posibilidades de que se produjera el fenómeno de interferencia, afirma que respecto al entrenamiento de resistencia, dicha fatiga aumenta conforme se incrementa el volumen y disminuye la intensidad del entrenamiento, incidiendo principalmente en la fatiga neural, la cual involucra mecanismos supraespinales y espinales, así como a la fatiga periférica ocasionada en el músculo esquelético con altas intensidades y bajo volumen. Por otro lado, en el entrenamiento de fuerza, la fatiga

a nivel del sistema nervioso central tiende a manifestarse con volúmenes bajos y alta intensidad (≤5 RM), mientras que la fatiga a nivel periférico es predominante en contextos de mayor volumen y menor intensidad, característicos del entrenamiento hipertrófico (6-12 RM). No obstante, un aumento de intensidad conlleva una reducción en el volumen de entrenamiento para favorecer la recuperación, permitiendo así que la siguiente sesión se realice en condiciones óptimas, y así evitar el sobreentrenamiento (148). Según lo observado, el entrenamiento de resistencia parece ser el factor más condicionante para la adquisición de adaptaciones neuromusculares y el desarrollo de la fatiga producidas por el entrenamiento, pudiendo disminuir la fuerza explosiva (23,136). Esto ha sido apoyado por más autores anteriormente (129,132,149). Por lo que, un control adecuado de las variables del entrenamiento, junto con unas estrategias de recuperación que incluyan una alimentación apropiada y un descanso adecuado, puede conseguir un estímulo óptimo para alcanzar adaptaciones neuromusculares significativas, promoviendo el rendimiento deportivo y evitando la aparición del fenómeno de interferencia o el sobreentrenamiento (150–152).

En este sentido, se ha demostrado que el entrenamiento de resistencia, caracterizado por un alto volumen, de modalidad continua e intensidad moderada afecta negativamente a las adaptaciones inducidas por el entrenamiento (130). Ello se debe a la activación de la vía metabólica AMPK (proteína quinasa activada por monofosfato de adenosina), desencadenada tras la depleción de los depósitos de glucógeno, lo cual pone en alerta al organismo e inhibe la vía metabólica mTOR (130). Al respecto a esto, se ha demostrado (130) que, en función del entrenamiento realizado, puede activarse predominantemente la vía metabólica AMPK o la vía metabólica mTOR. Así pues, la vía AMPK se activa cuando el organismo detecta una relación baja entre el adenosín monofosfato (AMP) y el adenosín trifosfato (ATP), producto de una limitada disponibilidad energética en las células. Dicho déficit se ve incrementado tras la depleción de los depósitos de ATP y la ausencia de sustratos energéticos disponibles, como consecuencia del volumen, la intensidad, la duración y la modalidad de los ejercicios de resistencia. Es en ese momento, durante o después del entrenamiento, cuando la vía AMPK entra en acción, promoviendo la oxidación de tejido adiposo y muscular para conseguir energía. Este proceso genera un efecto catabólico e inhibe simultáneamente la vía mTOR; la cual posee un carácter anabólico y favorece el desarrollo de fuerza, hipertrofia y potencia muscular (130). Por lo que se considera que la vía metabólica AMPK es la principal causa del fenómeno de interferencia; no obstante, si bien desempeña un rol fundamental, no constituye el único factor implicado. Por el contrario, el entrenamiento interválico a alta intensidad (HIIT) o de entrenamiento a intervalos de esprint (SIT) parecen minimizan los efectos negativos del entrenamiento concurrente. Algunos autores (153,154) aseguran que el HIIT, combinado con un entrenamiento de pesas, genera una mayor carga interna a los

sujetos, constituyendo un estímulo adicional que favorece la hipertrofia muscular. Este tipo de entrenamiento de resistencia constituye una alternativa eficaz al método continuo que potencia simultáneamente la fuerza, la masa muscular y la capacidad aeróbica (155–157), especialmente cuando se combina con un entrenamiento orientado a la fuerza máxima.

*2.3.5.2. **Control de la carga de entrenamiento y eficiencia metodológica***

Todo programa de entrenamiento tiene como objetivo la mejora del rendimiento mediante la inducción de adaptaciones fisiológicas. Los principios del entrenamiento, en concreto el principio de sobrecarga progresiva, desempeñan un papel protagonista en la generación de adaptaciones a largo plazo que permitan aumentar el rendimiento operativo en el cumplimiento de la misión (12,28,76). No obstante, resulta esencial supervisar y controlar las variables del entrenamiento, con el propósito de evitar un exceso de carga física y mental que, unido a un insuficiente descanso, pueda provocar efectos adversos y contrarios a los objetivos esperados (158). Sin la adecuada gestión de la carga de entrenamiento, la acumulación excesiva de frecuentes esfuerzos físicos y psicológicos puede derivar en consecuencias negativas para el desempeño de las tareas militares específicas, así como una disminución del rendimiento operativo (159–161).

En este contexto, es sabido que el cansancio agudo se produce de forma proporcional al esfuerzo físico realizado y, por lo general, desaparece tras unos días de descanso y la aplicación de estrategias de recuperación adecuadas (150). No obstante, cuando el esfuerzo continúa sin el tiempo de recuperación necesario, puede producirse una extralimitación funcional, caracterizada por la disminución temporal del rendimiento (99). Aunque este estado suele revertirse a los días o semanas con el descanso adecuado, si la sobrecarga persiste sin la recuperación necesaria, la extralimitación funcional puede evolucionar hacia una extralimitación no funcional, cuyo deterioro más severo y requiere semanas o meses para su completa reversión (141). Finalmente, si la situación se prolonga, puede desencadenarse un síndrome de sobreentrenamiento en el individuo, que se manifiesta en fatiga crónica, alteraciones fisiológicas y psicológicas, y una significativa disminución en el rendimiento y eficacia operativa (150).

En esta misma línea, las condiciones en las que se desarrollan estas pruebas en un entorno militar, al igual que en una misión real, rara vez son ideales. Estudios previos han demostrado que los factores de estrés que afectan al rendimiento operativo del personal militar (20,162) incluyen variables tanto intrínsecas como extrínsecas. Entre los factores intrínsecos se encuentran la composición corporal, el sexo, la edad, la experiencia previa en entrenamiento, el nivel inicial de rendimiento físico, el historial de lesiones, el estilo de vida y las variables psicosociales. Por su parte, los factores extrínsecos comprenden la privación del

sueño, el balance energético negativo, la relación entre trabajo y descanso, las influencias sociales y ambientales, y los métodos y materiales utilizados en el entrenamiento de actividad física prolongada. Estos factores extrínsecos influyen significativamente en la aparición de lesiones por sobreuso en el personal militar debido a su limitada capacidad para soportar o mitigar el estrés de las cargas de entrenamiento (163).

Con el fin de evitar alcanzar estados de sobrecarga excesiva y garantizar una adecuada alternancia entre carga y recuperación, resulta imprescindible realizar un eficaz y frecuente control de la carga de entrenamiento, aspecto esencial para preservar la salud y el rendimiento del personal militar (142). Dicho control implica la gestión sistemática de las variables del entrenamiento, tales como la intensidad, el volumen y la densidad, incorporando una recuperación adecuada dentro de la propia planificación del entrenamiento (164,165). Para lograr este fin, la monitorización del estado físico y psicológico del personal militar, mediante evaluaciones periódicas del estado físico y psicológico, ha demostrado ser una herramienta eficaz para detectar la aparición de síntomas de sobrecarga, como el grado de fatiga o alteraciones psicológicas (166–169). De ese modo, la integración de mecanismos de control y seguimiento en la planificación de entrenamiento contribuye a prevenir la aparición de estados de sobrecarga perjudiciales y la óptima progresión y consolidación de adaptaciones en el Ejército (170).

Con respecto al control de las cargas de entrenamiento, el manual vigente del Ejército español (76) enfatiza su relevancia dentro de la planificación, afirmando que estas deben distribuirse de manera racional y proporcional. No obstante, no desarrolla este fundamental e importante apartado dentro de la planificación periodizada del entrenamiento. Como tampoco se detallan estrategias específicas ni se ofrecen directrices de cómo controlar la carga de entrenamiento para determinar si los estímulos se ajustan a las necesidades del personal militar. Esta limitación dificulta que el especialista tenga una valoración objetiva del estado de forma en la que se encuentran los soldados, viéndose obligado a recurrir a pruebas maximales de rendimiento.

Las pruebas maximales de rendimiento requieren una preparación previa que modifica y retrasa el programa de entrenamiento, inducen una significativa fatiga y, además, resultan obsoletos en comparación con los dispositivos modernos de evaluación de rendimiento. Con el fin de implementar métodos más eficientes, resulta fundamental emplear pruebas de evaluación del rendimiento físico y fisiológico de los componentes de aptitud física correlacionados con las tareas operativas militares sin comprometer el proceso de entrenamiento (14). Se ha demostrado la utilidad de pruebas de rendimiento neuromuscular, como el salto con contramovimiento (171–173), el tirón isométrico a medio muslo (174–176) o el dinamómetro manual para evaluar la fuerza de prensión manual (177–179), las

cuales permiten obtener una valoración con datos objetivos y fiables de la fuerza y del rendimiento neuromuscular sin necesidad de llegar al agotamiento. Estas herramientas ofrecen una alternativa práctica, precisa y menos invasiva para el control de la carga y la monitorización del estado de preparación del personal militar, favoreciendo la continuidad del entrenamiento y la prevención de estados de fatiga acumulada.

Por otra parte, en lo que respecta a la recuperación, el manual vigente del Ejército español (76) subraya la importancia de garantizar periodos de descanso entre sesiones de entrenamiento y series de ejercicios para la adquisición de adaptaciones a largo plazo. También señala la existencia de medios fisiológicos, físicos, psicológicos y nutricionales que contribuyen a la recuperación, exponiendo brevemente como estrategias para la recuperación: la sesión específica de flexibilidad, con tres tipos de estiramiento evolucionado, estiramiento TRE (tensión, relajación y estiramiento) y estiramiento FNP (facilitación neuromuscular propioceptiva); la sesión aeróbica regenerativa, de modalidad carrera continua; y la sesión de juegos y deportes.

En la consecución de dicho fin, el Ejército ha sido un ámbito hermético que asigna la gestión e implementación de la preparación física al personal militar de las Fuerzas Armadas españolas. La ECEF delega la responsabilidad del diseño de la planificación deportiva en el personal formado y destinado en cada unidad. Esta decisión resulta acertada en tanto que permite considerar las necesidades específicas de cada unidad, puesto que es evidente que no todas necesitan los mismos requerimientos para cumplir su misión. Al igual que es coherente compaginar la instrucción físico-militar con el Programa Anual de Preparación, ya que el programa de entrenamiento debe adaptarse a los ejercicios conjuntos de adiestramiento, como las maniobras, que replican condiciones reales de combate. Sin embargo, la complejidad y responsabilidad de diseñar el programa de entrenamiento de una unidad demanda un conocimiento profundo y especializado en la materia. De lo contrario, podría verse afectada la efectividad y el alcance del programa de entrenamiento en la consolidación de adaptaciones fisiológicas a largo plazo, especialmente considerando la diversidad en formación, experiencia y condición física que puede presentar el especialista a cargo.

En contraste con lo que sucede en otras especialidades del Ejército, como en el caso de los enfermeros, médicos o juristas militares, a quienes sí que les exigen titulación universitaria para el ejercicio de sus funciones. Dicho especialista resulta que no es un experto, ya que no le han exigido ninguna titulación universitaria para ello. Esta carencia supone una limitación relevante a la hora de diseñar metodologías óptimas y planificaciones periodizadas de entrenamiento orientadas a la mejora del rendimiento físico. Además, se suma la importancia del control de la carga de entrenamiento, que constituye más bien una necesidad para garantizar

la correcta progresión y evitar el cúmulo de fatiga excesiva dentro de la preparación físico-militar. En esencia, este manual sirve de guía y consulta a dicho "especialista", responsable de la educación física de cada unidad, con el propósito de que diseñe un programa de entrenamiento adecuado en base a las necesidades específicas de la unidad. Este especialista asesorará a los Cuadros de Mando quienes en su unidad sean los responsables de la programación y ejecución de la preparación física en sus Programas Anuales de Preparación. En esta línea de actuación, las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte pueden desempeñar un papel decisivo. Hasta la actualidad, no se ha permitido que profesionales formados y especializados en las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte participen activamente en el diseño, desarrollo y optimización de los métodos y sistemas de entrenamiento dentro del Ejército español. No obstante, es un hecho que el aumento de evidencia científica del entrenamiento y fisiología del ejercicio ofrece una oportunidad valiosa para concienciar a las unidades militares sobre la importancia de modernizar la preparación física en beneficio tanto de los ciudadanos españoles, como de las Fuerzas Armadas.

Ante estas premisas, la presente Tesis Doctoral pretende aportar conocimiento sobre las demandas físicas y fisiológicas reales en contextos militares operativos y evaluar la monitorización de la carga de entrenamiento en un entorno operativo con el fin de fundamentar estrategias y programas de entrenamiento más eficaces, específicos y controlados, orientados a optimizar el rendimiento físico-operativo del personal militar y minimizar los riesgos asociados a la fatiga y las lesiones.

III – JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

III - JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

3.1. PROBLEMA PRINCIPAL

La preparación física en el ámbito militar presenta una elevada complejidad debido a la necesidad de desarrollar un amplio espectro de componentes de aptitud física, que logren combatir con eficacia el carácter polivalente y multifacético de las propias tareas del entorno operativo que deben realizar para el cumplimiento de la misión. En este contexto, las antiguas filosofías tradicionales continúan muy arraigadas en el Ejército, dificultando el desarrollo de la preparación físico-militar y condicionando los métodos de entrenamiento por estas antiguas creencias con escasa fundamentación científica y un elevado volumen de entrenamiento. La gran mayoría de los programas de entrenamiento carecen de una adecuada periodización y control sistemático de la carga de entrenamiento, además de evaluaciones periódicas y análisis del rendimiento, aspectos fundamentales para la adquisición de adaptaciones fisiológicas, así como la optimización de resultados longitudinales. Esta situación, junto con las dificultades y factores del entorno castrense que afectan al rendimiento militar, limita el desarrollo de las capacidades que resultan fundamentales para un eficaz desempeño de las tareas específicas y destrezas físicas de los escenarios operativos.

Ante esta realidad, se hace imprescindible que la preparación física militar evolucione hacia modelos comparables a los del rendimiento deportivo de alto nivel, incorporando enfoques basados en la evidencia científica y en la aplicación de metodologías específicas. En esta misión, resulta fundamental comprender las demandas fisiológicas reales de las tareas militares, así como la interacción existente entre ellas, lo que requiere una planificación rigurosa y una periodización coherente. No obstante, la heterogeneidad en la cualificación del personal responsable de la preparación física en el Ejército constituye una limitación relevante, dado que algunas unidades pueden disponer de profesionales capacitados, mientras que otras carezcan de especialistas. Esta situación se agrava ante la ausencia de una exigencia universitaria que obligue a dichos especialistas a contar con formación universitaria en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, así como por la falta de directrices claras, metodologías consensuadas y criterios unificados a todas las unidades operativas. Todo ello dificulta garantizar una preparación física eficaz, homogénea y adaptada a las necesidades del conjunto de las Fuerzas Armadas.

En vista de esta problemática, la presente Tesis Doctoral tiene como propósito aportar conocimiento sobre las demandas reales en contextos militares operativos, con la finalidad de que dicho conocimiento y análisis riguroso de los

requerimientos e interacciones contribuyan al diseño de estrategias y programas de entrenamiento más eficaces, específicos y controlados. Estas estrategias estarán orientadas a responder eficazmente a las demandas reales de las pruebas militares, a optimizar el rendimiento físico-operativo del personal militar y a reducir riesgos de fatiga acumulada, sobreentrenamiento y lesión.

3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

Estudio 1:

- La escasez de estudio sobre las respuestas fisiológicas reales relacionadas con la fatiga neuromuscular y la evolución de los procesos de recuperación posteriores a la realización de pruebas militares de larga duración, como la carrera de 30 km con carga, dificulta la comprensión detallada de dichos fenómenos. Esta comprensión resulta necesaria para conseguir un mejor diseño de programas de entrenamiento más específicos, además de para ser capaces de desarrollar estrategias de recuperación adecuadas para que el personal militar a la vanguardia del Ejército español sea capaz de afrontar este tipo de esfuerzos prolongados y altamente exigentes.

Estudio 2:

- Las pruebas militares específicas de corta y media distancia, como la carrera de 5 km con carga, requieren elevados niveles de fuerza, capacidad anaeróbica y potencia, lo que implica demandas fisiológicas significativas y un alto grado de estrés sobre el organismo. No obstante, existente limitada información sobre el impacto neuromuscular producido por este tipo de pruebas, así como de los procesos de recuperación durante los días posteriores a su realización, evidencia la necesidad de profundizar en su estudio. Ello permitiría comprender con mayor precisión las demanda a la que se encuentra expuesto los militares de unidades operativas del Ejército español, con el fin de asegurar un rendimiento óptimo y facilitar el adecuado desempeño de otras tareas militares posteriores.

Estudio 3:

- La ausencia de aplicación de un sistema de monitorización que resulte viable de implementar y capaz de detectar las fluctuaciones de la fatiga física y psicológica durante las etapas de formación y de alta exigencia en entornos militares operativos, así como la inconsistencia de la autopercepción del grado de fatiga y rendimiento físico, dificulta lograr un equilibrio entre las cargas de entrenamiento y los procesos

de recuperación que garantice una progresión sostenida y adecuada del rendimiento. Esta limitación dificulta el control de la correcta progresión del entrenamiento y de la mejora del rendimiento, lo que puede conducir a la acumulación excesiva de fatiga y, en consecuencia, a situaciones de sobreentrenamiento y a un mayor riesgo de lesiones, afectando negativamente en la preparación y la operatividad del personal militar.

3.3. HIPÓTESIS GENERAL

La hipótesis de la Tesis Doctoral es que la realización de prácticas militares específicas, como las marchas y carreras con carga, así como el régimen interior militar, generarán elevados niveles de fatiga física y mental que derivarán en una pérdida de rendimiento físico, así como psicológico, durante los días sucesivos a dichas prácticas. Puesto que esta clase de exigencias son habituales en la preparación para operaciones militares, su acumulación podría favorecer un estado crónico de fatiga a medio y largo plazo, configurando de esa forma un perfil del militar con signos persistentes de agotamiento físico y mental que impactan tanto en su capacidad operativa como en su bienestar general.

3.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Estudio 1:

- El análisis detallado de la marcha de endurecimiento de 30 km con carga logrará cuantificar el impacto que produce este tipo de esfuerzo prolongados en el organismo, aportando evidencias sobre un deterioro significativo del sistema neuromuscular incluso varios días posteriores a su realización. Además, facilitará la identificación de los principales factores de rendimiento implicados y aportará información esencial para observar la evolución de los procesos de recuperación, y así diseñar con mayor precisión programas de entrenamiento y estrategias de recuperación más eficaces.

Estudio 2:

- La ejecución de la carrera contrarreloj de 5 km con carga causará una potenciación del rendimiento neuromuscular de fuerza y potencia por encima de los niveles basales inmediatamente posterior a la finalización de la prueba debido a su alta intensidad y exigencia, seguido de un descanso significativo los días posteriores, fruto del aumento de fatiga neuromuscular generada en el organismo.

Estudio 3:

- La monitorización del rendimiento físico y psicológico dentro del régimen interno militar permitirá observar las fluctuaciones del rendimiento físico y mental de los militares de unidades altamente operativas, siendo capaz de mostrar un estado sostenido de fatiga y estrés. Estas evidencias permitirán el diseño de planificaciones más equilibradas con respecto a la carga de entrenamiento y la recuperación que evite la acumulación excesiva de fatiga que será visible tras la correlación positiva entre las categorías y escalas de los cuestionarios realizados, junto con la mejora en las pruebas de campo específicas militares.

IV – OBJETIVOS

IV - OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta Tesis Doctoral será analizar las demandas físicas y fisiológicas de pruebas representativas militares y evaluar la monitorización de la carga de entrenamiento en un entorno operativo para fundamentar estrategias más eficaces, específicas y controladas con el fin de aportar conocimiento para poder optimizar la preparación físico-militar, minimizando el riesgo de fatiga, sobreentrenamiento y lesión.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudio 1:

- Analizar las demandas fisiológicas de la marcha de endurecimiento de larga distancia de 30 km con carga, cuantificando la fatiga neuromuscular y la evolución de los procesos necesarios para optimizar la recuperación tras su realización y así orientar el diseño de programas de entrenamiento y estrategias de recuperación efectivas para este tipo de pruebas prolongadas en condiciones operativas reales.

Estudio 2:

- Determinar las exigencias fisiológicas una de las principales y más duras pruebas militares de unidades de punta de lanza del Ejército español, la carrera de 5 km con carga, analizando los componentes de fuerza y potencia requeridos, para comprender la fatiga aguda y residual que genera este tipo de pruebas, así como la evolución de la recuperación posterior a su ejecución, en el proceso de optimizar su entrenamiento y recuperación y así conseguir un mejor desempeño en la tareas militares posteriores.

Estudio 3:

- Implementar y evaluar un sistema de monitorización capaz de detectar las fluctuaciones del rendimiento físico y psicológico y cuantificar la fatiga del personal militar durante las etapas de formación y de alta exigencia en entornos militares operativos, en relación con la carga entrenamiento realizada según la metodología militar habitual, favoreciendo así a una óptima progresión de la preparación física, reduciendo el riesgo de sobreentrenamiento y lesiones.

V – VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS

V - VISIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS

Esta Tesis Doctoral se presenta como un compendio de tres artículos científicos que constituyen el resultado de diferentes estudios experimentales. Cada uno de los presentes artículos analiza, desde diferentes perspectivas, las respuestas neuromusculares y/o psicológicas de los Infantes de Marina del Ejército español, obteniendo así una visión integral del rendimiento en escenarios operativos de elevada exigencia física. El primero de los artículos se centra en el análisis de una marcha de endurecimiento de 30 km transportando equipo logístico de combate, característica de la instrucción militar de unidades altamente operativas, observando el impacto del desgaste físico y fisiológico tras la prueba de resistencia de larga duración. El segundo estudio aporta otra perspectiva sobre las respuestas que produce una carrera de 5 km transportando equipo logístico de combate, una prueba frecuente en la formación militar de unidades de vanguardia del Ejército español de mayor intensidad y potencia y de menor duración, ofreciendo evidencias sobre los mecanismos de fatiga y recuperación. El tercer, y último artículo, ofrece información relevante desde un contexto más longitudinal, recopilando evidencias sobre parámetros físicos y psicológicos durante un periodo de formación militar de 13 semanas de alta densidad en entrenamiento y prácticas militares. En esencia, esta investigación contribuye al diseño de estrategias de prevención de lesiones, recuperación tras maniobras o prácticas militares y optimización del entrenamiento dirigido a la mejora de la operatividad y rendimiento físico.

ESTUDIO 1

EFECTOS DE UNA MARCHA MILITAR DE ENDURECIMIENTO CON CARGA DE 30 KM SOBRE EL SISTEMA NEUROMUSCULAR EN INFANTES DE MARINA DEL EJÉRCITO ESPAÑOL

Resumen

Los soldados de infantería deben recorrer largas distancias cargando con un equipo de combate pesado y voluminoso. Desde el inicio de su formación, los Infantes de Marina españoles se han sometido a esta exigente y característica prueba. Sin embargo, se dispone de escasa información acerca de sus efectos sobre la función neuromuscular y la recuperación en los días posteriores a la misma. Veintiséis Infantes de Marina españoles completaron la prueba, de los cuales tres sufrieron lesiones y tuvieron que abandonar el estudio, conformando así una muestra final de veintitrés participantes. Estos fueron evaluados antes de la marcha (pre), inmediatamente después (post), y a las 24 y 48 horas posteriores a la prueba, tras realizar una marcha de endurecimiento de 30 km portando su equipo de combate de 34 kg. Se llevaron a cabo un ANOVA de medidas repetidas, pruebas t para muestras apareadas y análisis del tamaño del efecto (ES); los resultados se presentan como media ± desviación estándar (SD). El nivel de significación se estableció en $p \leq 0.05$. Se presentan las variables y los valores de p correspondientes a los cambios a lo largo del tiempo. La fuerza isométrica de tracción en muslo medio (IMTP) ($p = 0.004$), el salto con contramovimiento (CMJ) ($p \leq 0.001$), la escala de valoración de la fatiga (ROF) ($p \leq 0.001$), el número máximo de dominadas en 2 minutos (PLUmax) ($p \leq 0.001$), la masa corporal (BM) ($p \leq 0.001$), la fuerza de prensión manual (HGS): mano dominante ($p = 0.180$) y no dominante ($p = 0.616$), así como los registros de incidencias y percepción de esfuerzo (IRPE), mostraron un aumento significativo en el tiempo y entre los primeros 10 km y los últimos 5 km en las variables de fatiga, dolor muscular, dolor articular, disnea, sudoración excesiva ($p \leq 0.001$) y temblores musculares ($p = 0.028$), excepto en el caso de las palpitaciones ($p = 0.189$). En conclusión, los resultados indican que la prueba tuvo un impacto significativo sobre la función neuromuscular, sin observarse recuperación en la fuerza general ni en la potencia de los miembros inferiores tras 48 h, a pesar de que la percepción de fatiga disminuyó de manera considerable. El espíritu de resiliencia de las unidades militares operativas y su filosofía de estar siempre preparadas para el combate podrían incrementar la tasa de lesiones.

ESTUDIO 2

RESPUESTAS NEUROMUSCULARES A UNA CARRERA CONTRARRELOJ CON CARGA DE 5 KM POR INFANTES DE MARINA DEL EJÉRCITO ESPAÑOL

Resumen

Uno de los requisitos físicos para los Infantes de Marina consiste en cubrir una distancia específica mientras se transporta equipo de combate individual, suministros u otro material militar a través de terrenos impracticable. El entrenamiento para esta tarea, tanto física como mentalmente demandante, forma parte rutinaria de su preparación. No obstante, se requiere mayor investigación para comprender mejor el impacto neuromuscular de esfuerzos tan exigentes, maniobras intensas, y el proceso de recuperación en los días posteriores. Veintinueve Infantes de Marina completaron una prueba contrarreloj de 5 km portando 24 kg de equipo de combate, siendo evaluados en cuatro momentos: antes del ejercicio (pre), inmediatamente después del ejercicio (post), 24 horas después del ejercicio y 48 horas después del ejercicio. Se realizaron un ANOVA de medidas repetidas, pruebas t para muestras apareadas y análisis del tamaño del efecto (ES), presentando los resultados como media ± desviación estándar (SD). El nivel de significación se estableció en $p \leq 0.05$. Varias variables y sus correspondientes valores de p mostraron cambios a lo largo del tiempo, incluyendo: la fuerza isométrica de tracción en muslo medio (IMTP) ($p = 0.001$); la altura del salto con contramovimiento (VJ CMJ) ($p \leq 0.001$); la escala de valoración de la fatiga (ROF) ($p \leq 0.001$); los niveles de lactato sanguíneo (BL) ($p \leq 0.001$); el número máximo de dominadas (PLUmax) ($p \leq 0.001$); la masa corporal (BM) ($p \leq 0.001$); la fuerza de prensión manual de la mano dominante (DHGS) ($p = 0.406$); y la fuerza de prensión de la mano no dominante (NDHGS) ($p = 0.805$). Los registros de incidencias y la percepción del esfuerzo (IRPE) revelaron un incremento progresivo y significativo entre el primer y el último kilómetro de la prueba, específicamente en las variables percibidas de fatiga, dolor muscular, dolor articular, disnea, palpitaciones, sudoración excesiva y temblores musculares (todas $p \leq 0.001$). Estos hallazgos pueden contribuir a optimizar los programas de entrenamiento para que se ajusten mejor a las exigencias operativas, mejorando así el rendimiento en las tareas y la efectividad global de la misión. En conclusión, la prueba militar tuvo un impacto neuromuscular significativo en el organismo, inicialmente resultando en la potenciación de la fuerza isométrica global absoluta y la potencia de los miembros inferiores. Sin embargo, estos valores descendieron por debajo de los niveles basales a las 24 y 48 h posteriores a la prueba.

ESTUDIO 3

MONITORIZACIÓN DEL RENDIMIENTO NEUROMUSCULAR Y PSICOLÓGICO DURANTE UNA TEMPORADA EN EL CUERPO DE INFANTERÍA DE MARINA ESPAÑOLA

Resumen

Antecedentes: La planificación del entrenamiento en entornos militares es compleja debido a las diversas demandas operativas y a la exposición constante a factores estresantes. Cuando se combina con altos volúmenes de entrenamiento y recuperación insuficiente, esto puede derivar en sobrecarga física y mental. Las evaluaciones periódicas son fundamentales para monitorear el estado del personal y ajustar el entrenamiento de manera adecuada; sin embargo, se requiere mayor investigación para seguir de manera efectiva el rendimiento en escenarios operativos reales. **Objetivos:** El presente estudio tiene como objetivo monitorear el rendimiento neuromuscular y psicológico en relación con la carga de entrenamiento en una escuela militar, abordando la brecha de investigación existente en el seguimiento del rendimiento en entornos operativos. **Métodos:** En total, se monitoreó a veintisiete Infantes de Marina (edad: 27.9 ± 4.8 años; altura: 178.1 ± 6.3 cm; peso: 79.1 ± 7.8 kg) a lo largo de un período de 13 semanas de formación académico-militar, con el fin de evaluar el rendimiento neuromuscular y la fatiga psicológica. **Resultados:** Las pruebas de laboratorio incluyeron el salto con contramovimiento (CMJ) ($p = 0.002$), la fuerza isométrica de tracción en muslo medio (IMTP) ($p = 0.001$) y la fuerza de prensión manual tanto de la mano dominante ($p = 0.947$) como de la no dominante ($p = 0.665$). Las pruebas de campo consistieron en dominadas máximas (PLUmax) ($p = 0.015$), flexiones de brazos (PUmax) ($p = 0.001$) y lanzamiento de balón medicinal (MBT) ($p = 0.334$). La evaluación psicológica mediante el cuestionario POMS mostró las puntuaciones más altas en los estados negativos de ánimo Tensión–Ansiedad, Depresión–Melancolía y Fatiga–Inercia, mientras que Vigor–Actividad reflejó el estado positivo más elevado. Los resultados del RESTQ-Sport indicaron que la recuperación total superó al estrés total en un 68.9 %. **Conclusiones:** A pesar de las mejoras observadas en algunas pruebas de campo, no se evidenciaron ganancias neuromusculares significativas, probablemente debido a cargas de entrenamiento excesivas, recuperación limitada y estrés sostenido.

VI – ESTUDIO 1

VI - ESTUDIO 1

EFECTOS DE UNA MARCHA MILITAR DE ENDURECIMIENTO CON CARGA DE 30 KM SOBRE EL SISTEMA NEUROMUSCULAR EN INFANTES DE MARINA DEL EJÉRCITO ESPAÑOL

6.1. INTRODUCCIÓN

La misión del Ejército es garantizar la defensa nacional mediante la salvaguarda del territorio, la protección de los ciudadanos y el mantenimiento del orden constitucional. Para cumplir con estas funciones, el personal militar debe someterse a una rigurosa preparación física y mental que asegure el éxito cuando el deber lo requiera. En este proceso de preparación, las maniobras o ejercicios militares desempeñan un papel central, ya que permiten enseñar y evaluar las capacidades tanto de la unidad como de sus integrantes. En particular, los soldados de infantería se caracterizan por recorrer largas distancias a pie (entre 10 y 20 km) mientras transportan equipo voluminoso y pesado (de 15 a 61 kg) (69,180,181), a través de terrenos accidentados e inaccesibles para vehículos. El éxito de la misión, e incluso la supervivencia, puede depender de la rapidez con la que un soldado sea capaz de desplazarse de un punto a otro cargando su equipo de combate personal, material táctico y/o suministros (182). Por esta razón, las marchas con carga constituyen una de las tareas principales que realiza el personal militar durante sus maniobras de entrenamiento, las cuales implican una elevada exigencia física (16).

Esta exigencia física está determinada por la carga transportada, la masa corporal del individuo, la distribución de la carga, la velocidad de desplazamiento, el uso de chaleco antibalas y el tipo de terreno (69,183,184). Entre estos factores que influyen en el rendimiento durante esta tarea, se presta especial atención a la distribución de la carga, el peso transportado y la condición física. Por cada kilogramo de carga adicional, el rendimiento en las tareas militares disminuye entre un 1 y un 3 %, debido al aumento de las demandas aeróbicas y de fuerza muscular (183,185). Colocar la carga cerca del centro de masa del soldado, sobre el torso y la cintura escapular, genera el menor gasto energético (69). Además, una condición física deficiente puede provocar la deformación de los tejidos blandos (186,187), lo cual compromete la mecánica respiratoria, impone un estrés fisiológico adicional y altera la biomecánica del movimiento (188), todo lo cual afecta negativamente la capacidad de trabajo (183,184). Esto puede impactar la función neuromuscular, al influir en la interacción entre el sistema nervioso y los músculos, lo que potencialmente compromete la capacidad contráctil del músculo para

generar fuerza y moverse con eficiencia. A su vez, esto repercute en el rendimiento operativo y en la recuperación posterior.

En este sentido, las lesiones musculoesqueléticas son frecuentes y parecen estar asociadas a las exigencias propias de la instrucción, el entrenamiento y la preparación militar. Estas lesiones se encuentran entre las principales causas de deserción, disminución de la productividad y preparación militar subóptima, lo que conlleva importantes costes económicos y humanos debido a la atención médica requerida y la imposibilidad de desempeñar tareas de forma eficaz (17). Dentro del amplio espectro de lesiones prevalentes en el Ejército, la mayoría están relacionadas con el entrenamiento, específicamente con el uso excesivo o la sobrecarga, lo que indica que los soldados están sobreentrenados (189). Estas lesiones afectan gravemente la fuerza militar y la capacidad operativa, y se definen como lesiones que se desarrollan de forma gradual como consecuencia de niveles elevados de estrés mecánico sin el tiempo suficiente para la recuperación, reparación estructural y adaptación metabólica. Son causadas por microtraumatismos acumulados, resultado de patrones de movimiento repetitivos e intensos (190,191), con tasas de incidencia significativamente más altas entre las mujeres (192).

Especialmente en el caso de los soldados de infantería, este tipo de prácticas militares suelen repetirse durante varios días consecutivos o llevarse a cabo en combinación con otras tareas militares de alta exigencia física, con escasos o nulos periodos de descanso, en un entorno estresante donde dormir y alimentarse adecuadamente representa un desafío. Por lo tanto, esta tarea característica del ámbito militar, la marcha con carga, podría afectar la eficacia en la realización de otras funciones en los días posteriores, debido a su elevada exigencia física. Por esta razón, el análisis de estas prácticas habituales, con el fin de observar su impacto en el organismo, así como el proceso de recuperación en los días siguientes, reviste una gran importancia tanto para la preparación física como para la preparación militar.

Investigaciones previas sobre el rendimiento fisiológico y biomecánico del personal militar durante carreras de larga distancia con carga, como el equipo de combate, han demostrado efectos significativos en la fatiga muscular, el gasto energético y el riesgo de lesiones (69,180,193). Diversos estudios (183,194,195) han evidenciado que transportar cargas pesadas durante esfuerzos prolongados altera la economía de carrera, incrementando el coste metabólico y reduciendo la eficiencia biomecánica debido a modificaciones en la cinemática de la marcha y en la mecánica del impacto. Estos factores pueden comprometer tanto el rendimiento operativo como la recuperación, manifestándose en un aumento de la flexión de rodilla y cadera, una inclinación anterior del tronco y una ligera tendencia a reducir la frecuencia de zancadas a medida que aumenta la carga transportada.

No obstante, existe una notoria escasez de estudios que analicen de forma integral los efectos combinados de la carga, la distancia y el terreno sobre el rendimiento y la resiliencia fisiológica en contextos operativos. La mayoría de las investigaciones anteriores (117,196,197) se han centrado en distancias más cortas o en pruebas de laboratorio bajo condiciones controladas, lo que deja una brecha en la comprensión del impacto de estas exigencias en escenarios reales de despliegue. Esta laguna en la literatura pone de relieve la necesidad del presente estudio, cuyo objetivo es abordar estas limitaciones mediante una evaluación más específica de las respuestas fisiológicas en pruebas de mayor duración realizadas en condiciones operacionales. De este modo, se pretende ofrecer información clave sobre la fatiga neuromuscular inducida por este tipo de esfuerzos y el proceso de recuperación posterior, con el fin de contribuir a la optimización del entrenamiento y la preparación militar. Los datos recogidos en esta investigación podrían ayudar a optimizar las cargas de entrenamiento para favorecer la recuperación y consolidar las adaptaciones fisiológicas tras evaluar el impacto de la marcha. Además, podrían ser útiles en el diseño de estrategias orientadas a mejorar el rendimiento y la recuperación después de la marcha, dado que se trata de una prueba obligatoria dentro del programa de instrucción y adiestramiento de la Infantería de Marina Española. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar y describir la fatiga neuromuscular causada por una marcha militar de acondicionamiento de 30 km con equipo de combate, así como el proceso de recuperación posterior.

6.2. MATERIALES Y MÉTODOS

6.2.1. Diseño del estudio

Se llevó a cabo un estudio descriptivo con medidas repetidas sobre una marcha militar de acondicionamiento de 30 km con 34 kg de equipo logístico de combate, realizada en un circuito de 5 km con desniveles, en el que participaron inicialmente 26 militares. Las evaluaciones se realizaron en cuatro momentos: antes de la marcha, inmediatamente después, 24 horas después y 48 horas después. La distancia total recorrida y el desnivel acumulado, junto con otras variables, fueron cuantificados mediante relojes deportivos inteligentes idénticos equipados con tecnología de sistema de posicionamiento global (GPS). Los datos recogidos se expresaron como media ± desviación estándar (SD). El equipo logístico de combate tenía un peso total de 34 kg e incluía una mochila de supervivencia para 48–72 h, casco, fusil, botas y un chaleco portaplacas del sistema MOLLE con portacargadores incluidos. Tras un periodo de familiarización con las pruebas de rendimiento y un descanso de 24 h sin ejercicio vigoroso, los participantes realizaron un calentamiento general seguido de un calentamiento específico. A continuación, se recopilaron los datos basales (pre-entrenamiento), incluyendo

edad, estatura y masa corporal (BM). La actividad o prueba realizada fue una maniobra oficial organizada por la escuela militar, cuya planificación y carga de trabajo fueron ajustadas específicamente para su ejecución en ese día. Este enfoque garantizó que los soldados estuvieran óptimamente preparados y mentalmente comprometidos para alcanzar su máximo rendimiento, ya que se trataba de una prueba oficial y calificada dentro del programa académico, y no de una evaluación adicional o externa.

Además, se llevaron a cabo las siguientes pruebas de rendimiento en el orden especificado, con intervalos de descanso de 3 a 5 min entre cada una: salto con contramovimiento (CMJ), tirón isométrico a mitad del muslo (IMTP), fuerza de prensión manual (HGS), escala de esfuerzo percibido (ROF), y prueba de dominadas máximas en 2 min (PLUmax). Después de la marcha de 30 km con equipo de combate, se repitió la recogida de datos y las pruebas de rendimiento para evaluar la fatiga aguda inducida por la actividad. Posteriormente, se realizaron evaluaciones a las 24 y 48 h posteriores a la marcha para observar la fatiga residual. Finalmente, al término de la prueba se completó un informe de incidencias.

6.2.2. Participantes

La muestra inicial estuvo compuesta por 26 militares profesionales varones pertenecientes a la Escuela de Infantería de Marina española. Durante la marcha, tres participantes sufrieron lesiones relacionadas con problemas en la rodilla y la zona lumbar, por lo que tuvieron que abandonar la actividad, resultando en una muestra final de 23 participantes (edad: 28.4 ± 5.0 años; estatura: 176.2 ± 5.8 cm; masa corporal: 80.0 ± 7.8 kg). Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (a) ser personal militar en activo, (b) pertenecer al Curso de Acceso a la Escala de Suboficiales (CAES) del Cuerpo de Infantería de Marina española, y (c) no padecer ninguna enfermedad, lesión o deficiencia de ningún tipo. Los criterios de exclusión fueron: (a) tener diagnosticada alguna enfermedad, lesión o deficiencia que pudiera afectar al rendimiento físico durante el estudio, (b) estar bajo tratamiento farmacológico que pudiera influir en el rendimiento físico, (c) no completar todas las fases y protocolos del estudio, y (d) manifestar voluntariamente el deseo de abandonar el estudio en cualquier momento. La muestra estuvo compuesta exclusivamente por hombres, dado que no había mujeres inscritas en el CAES en el momento de la investigación. Antes del inicio del estudio, los participantes fueron informados de los detalles de la intervención y firmaron un documento de consentimiento informado, de acuerdo con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki (198). Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia (UCAM), con fecha 28 de octubre de 2022 (código CE102202). Los participantes fueron reclutados en el marco

de un convenio de colaboración entre el Ministerio de Defensa del Reino de España y la UCAM (BOE-A-2022-12703).

6.2.3. Procedimientos

Calentamiento. El calentamiento realizado por los participantes antes de cada recogida de datos consistió en lo siguiente: (a) ejercicios de movilidad articular, con 1 serie de 10 repeticiones para cada uno de los siguientes ejercicios: rotaciones de hombros, rotaciones de tronco, giros de cadera y flexiones de rodilla hacia adelante en posición de pie; (b) estiramientos dinámicos, con 1 serie de 10 repeticiones para cada uno de los siguientes ejercicios: flexión-extensión de cadera en posición de pie alcanzando el suelo con las manos, y estiramiento de isquiotibiales elevando la pierna hasta la horizontal y tocando la punta del pie con la mano; (c) ejercicios metabólicos, con 1 serie de 8 a 20 repeticiones de los siguientes ejercicios: jumping jacks (saltos con separación de piernas y brazos), skipping, zancadas (lunges) y burpees; y (d) ejercicio específico, el peso muerto con barra recta: serie 1 (4 repeticiones × 20 kg), serie 2 (6 × 40 kg) y serie 3 (4 × 60 kg), con descansos de 1 a 2 min entre series.

Fuerza isométrica máxima de piernas y espalda. La prueba de tirón isométrico a mitad del muslo (IMTP) es una evaluación válida y fiable para medir la fuerza máxima general de una persona (199). Los participantes realizaron la prueba en una máquina Smith colocada sobre una plataforma de fuerza portátil (Kistler 9286BA, Kistler Group, Winterthur, Suiza). La barra fue fijada y ajustada para garantizar una distancia equitativa entre el trocánter mayor y el epicóndilo lateral de ambas rodillas. Primero, los participantes realizaron un intento de práctica submáxima, con una duración de entre 3 y 5 s. A continuación, realizaron 2 repeticiones máximas, cada una con una duración de entre 3 y 5 s, con 20 s de descanso entre repeticiones. El mejor resultado fue utilizado para el análisis.

Salto con contramovimiento (CMJ). El CMJ es la prueba más validada, fiable y ampliamente utilizada para estimar la fuerza-potencia del tren inferior (200). El CMJ se realizó sobre una plataforma de fuerza portátil, capaz de efectuar análisis estabilométricos mediante las oscilaciones del centro de presión, utilizando cuatro sensores piezoeléctricos situados en cada extremo de la plataforma, con un rango de 400–600 mm. La frecuencia de muestreo fue de 1000 Hz, lo que permitió registrar el desplazamiento y el tiempo de contacto entre el pie y la superficie de la plataforma. Los datos fueron registrados y analizados mediante el software de medición, análisis e informes MARS (2012 S2P Ltd., Liubliana, Eslovenia), ya que la mayoría de los parámetros de sentadilla y los datos obtenidos con MARS son consistentes, fiables y adecuados tanto para el seguimiento individual como para la cuantificación de variaciones en el rendimiento (201). Los datos en bruto fueron exportados, y se calcularon las siguientes variables utilizando Microsoft Excel

(Microsoft Corporation, Redmond, DC, EE. UU.): altura máxima del salto vertical desde el despegue (VJ) [cm], potencia máxima (PP) [W], fuerza excéntrica máxima (PEcc), fuerza concéntrica máxima (PCon) [N] y la tasa de desarrollo de la fuerza en las fases excéntrica (RFDEcc) y concéntrica (RFDCon) [N/s]. La profundidad del contramovimiento fue autoelegida por los participantes, quienes fueron instruidos para aterrizar lo más cerca posible del punto de despegue. Cada participante realizó dos saltos, con un descanso de 60 s entre ellos, y se seleccionó el mejor salto en función de la mayor altura alcanzada.

Escala de percepción de la fatiga (ROF). Se solicitó a los participantes que calificaran su nivel percibido de fatiga al finalizar la prueba mediante una escala numérica del 0 al 10, donde 0 representa un estado de reposo y 10 representa el esfuerzo máximo (202). Este valor numérico se utilizó para definir el nivel de fatiga o el esfuerzo subjetivo experimentado por el individuo tras la actividad.

Dominadas máximas en 2 min (PLUmax). Esta prueba, utilizada para medir la fuerza y/o la resistencia muscular en personal militar (14,16), consistió en elevar el propio peso corporal tantas veces como fuera posible, asegurándose de que la barbilla superara una barra horizontal. La barra se sujetó en un agarre prono, con una anchura igual o ligeramente superior a la de los hombros. La posición inicial requería colgarse de la barra con los codos completamente extendidos y los pies sin contacto con el suelo, y la posición final exigía flexionar los codos y elevar el cuerpo hasta que la barbilla quedara por encima de la barra, pasando la nuez por encima de esta (203,204). La prueba finalizaba al alcanzar el agotamiento o tras transcurrir 2 min, durante los cuales el participante debía mantener siempre el agarre en la barra, sin soltarse ni apoyarse en ninguna superficie. Se informó a los participantes que las repeticiones realizadas con técnica incorrecta no serían contabilizadas, y se permitió una pausa breve de menos de 10 s. Se registró para el análisis el número máximo de repeticiones correctamente ejecutadas.

Fuerza de prensión manual (HGS). La HGS es una prueba esencial para evaluar el rendimiento en tareas manuales de levantamiento y transporte (205). Para medir la fuerza de prensión se utilizó un dinamómetro digital de mano Camry (modelo EH101, Zhongshan Camry Electronic Co., Ltd., China). El hombro del brazo evaluado se mantuvo pegado al costado del cuerpo con el codo en un ángulo de 90° y la mano en posición neutra. Se realizaron dos repeticiones por cada mano, dominante (DHGS) y no dominante (NDHGS), aplicando fuerza máxima durante 3 s, con un descanso de 60 s entre repeticiones. Para el análisis se consideró el mejor intento.

Reportes de incidencias y percepción de esfuerzo (IRPE) durante la prueba. Se registraron las incidencias, molestias, síntomas y el esfuerzo percibido durante la prueba para cada participante mediante un formulario. Los participantes indicaron sus sensaciones subjetivas de fatiga, dolor muscular, dolor articular,

dificultad respiratoria, palpitaciones, sudoración excesiva y temblores musculares en una escala con cuatro rangos (0: ninguno, 30: leve, 60: moderado y 90: severo) en distintos segmentos de la prueba (0–10 km, 10–15 km, 15–20 km, 20–25 km y 25–30 km), así como en una sección de observaciones donde anotaron cualquier inconveniente experimentado al completar los 30 km.

6.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Jamovi versión 1.6 (The Jamovi Project, Sídney, Australia). Las inferencias se calcularon en función de la magnitud de las fluctuaciones en las variables de rendimiento antes de la prueba, después de la prueba, a las 24 h y a las 48 h posteriores, presentándose como diferencias medias estandarizadas (media ± SD) (206). Se evaluó la normalidad de los datos, confirmando que todas las variables analizadas cumplían con los criterios establecidos. Para ello, se aplicó la prueba de Shapiro–Wilk, considerando tanto el valor p como la estadística W. Para evaluar los resultados a lo largo del tiempo, se llevó a cabo un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA de medidas repetidas) con comparaciones múltiples entre los distintos puntos temporales. Posteriormente, cada variable estudiada se comparó entre los diferentes momentos de evaluación mediante una prueba t de muestras pareadas. El nivel de significación se estableció en $p \leq 0.05$. El tamaño del efecto (ES) se calculó usando la d de Cohen (207) comparando las variables preprueba con posprueba, preprueba con 24 h posprueba y preprueba con 48 h posprueba. Esto permitió determinar el nivel de significancia del efecto para cada variable analizada, reflejando diferencias significativas en una misma variable entre distintos momentos temporales. El tamaño del efecto (ES) se interpretó según la d de Cohen de la siguiente manera: trivial (<0.2), pequeño (≥0.2–<0.6), moderado (≥0.6–<1.2), grande (≥1.2–<2.0), muy grande (≥2.0–<4.0) y extremadamente grande (≥4.0) (208). En resumen, se siguieron las recomendaciones sobre el uso de la estadística en medicina deportiva y ciencias del ejercicio (208).

6.3. RESULTADOS

Respecto a las características de la marcha recogidas mediante relojes deportivos inteligentes similares en 12 participantes, los datos se presentan como media ± SD. Sin embargo, la distancia total de la prueba fue inicialmente medida por el equipo supervisor y de mando para garantizar la precisión. La distancia total fue de 29.98 ± 0.34 km. El tiempo total fue de 327.67 ± 17.37 min y 34.58 ± 17.17 s. El ritmo medio fue de 10.95 ± 0.5 min/km. Las calorías totales estimadas registradas fueron 2382.0 ± 301.83 kcal, calculadas en función de las características antropométricas individuales, la condición física y la actividad realizada, tales

como edad, altura, masa corporal, sexo, tipo de actividad, duración, intensidad y frecuencia cardíaca durante la prueba. La frecuencia cardíaca media fue de 131.75 ± 10.59 latidos por min (lpm), con valores máximos que alcanzaron 173.25 ± 11.63 lpm. La temperatura media durante la prueba fue de 21.4 ± 2.56 °C, con temperaturas máximas de 24.2 ± 2.18 °C. El ascenso total fue de 628.25 ± 426.47 m y el descenso total de 859.75 ± 752.93 m. La velocidad media fue de 5.51 ± 0.28 km/h, alcanzando velocidades máximas de 11.52 ± 2.21 km/h. El tiempo total para los 23 participantes que completaron la prueba fue de 340.36 ± 17.70 min.

Los resultados de las variables de rendimiento se presentan en la Tabla 1 (Apéndice A.1). La fuerza vertical absoluta máxima, medida mediante la prueba IMTP, mostró una disminución significativa a lo largo del tiempo ($p = 0.004$) (Figura 10, Apéndice A.2). No se observaron cambios significativos (0.98 %) en el posprueba respecto al preprueba, pero sí hubo una disminución significativa ($p = 0.037$) a las 24 h posprueba (−5.7 %) y a las 48 h posprueba (−4.8 %) en comparación con los valores previos a la prueba ($p = 0.005$).

En cuanto a las variables del CMJ, se encontró una disminución significativa a lo largo del tiempo en la VJ ($p < 0.001$), la PP ($p < 0.001$), la RFDCon ($p = 0.033$) y la PEcc ($p = 0.012$). Sin embargo, no se observaron cambios significativos en la PCon ($p = 0.190$) ni en la RFDEcc ($p = 0.487$). La evolución de los cambios en los diferentes momentos de evaluación varió entre las variables del CMJ: la VJ mostró una disminución muy pronunciada entre el preprueba y posprueba (−13.7 %), con disminuciones similares a las 24 h post (−11.5 %) y a las 48 h post (−14.0 %) en comparación con los valores previos a la prueba (Figura 11, Apéndice A.3). La PP no presentó cambios significativos pre-post (−1.0 %), pero sí mostró una disminución significativa pre-24 h (−8.6 %) y pre-48 h (−9.1 %) posprueba. La RFDCon no mostró cambios significativos pre-post (6.5 %), pero sí una disminución considerable del (−46.0 %) a las 24 h y del (−12.0 %) a las 48 h respecto a los valores preprueba. La PEcc evidenció una disminución pre-post (−6.9 %), seguida de una rápida recuperación a las 24 h (−0.4 %) e incluso un leve aumento a las 48 h (0.4 %). La PCon no presentó cambios significativos pre-post (1.7 %), con disminuciones del (−2.3 %) a las 24 h y del (0.3 %) a las 48 h. Por último, la RFDEcc no mostró cambios significativos pre-post (−4.4%), pero sí incrementos del 6.5 % y 3.5 % a las 24 h y 48 h, respectivamente.

La ROF mostró cambios significativos ($p < 0.001$) a lo largo de los diferentes momentos de evaluación, evidenciando aumentos en pre-post (286.2 %), pre-24 h (153.1 %) y pre-48 h (75.0 %) posprueba (Figura 12, Apéndice A.4). La PLUmax presentó también cambios significativos a lo largo del tiempo ($p < 0.001$), con disminuciones en pre-post (−21.5 %), pre-24 h (−11.3 %) y pre-48 h (−5.6 %) posprueba (Figura 13, Apéndice A.5). Todas las evaluaciones de BM evidenciaron una reducción significativa ($p < 0.001$) tras la prueba: pre-post (−3.4 %), pre-24 h

(−2.0 %) y pre-48 h (−1.9 %) posprueba. La prueba de HGS no mostró cambios significativos en general entre los diferentes momentos de evaluación ($p = 0.343$), ni en la DHGS ($p = 0.180$) ni en la NDHGS ($p = 0.616$). Sin embargo, se observó un ligero aumento en DHGS de +3.24 % ($p = 0.054$) pre-post, +3.02 % ($p = 0.108$) pre-24 h y +1.19 % ($p = 0.525$) pre-48 h; y en NDHGS de +3.18 % ($p = 0.301$) pre-post, +1.19 % ($p = 0.563$) pre-24 h y +1.59 % ($p = 0.566$) pre-48 h posprueba (Figura 14, Apéndice A.6). Además, se observaron diferencias significativas entre DHGS y NDHGS ($p < 0.001$), con diferencias previas a la prueba ($p = 0.009$) de −5.4 %, posprueba ($p = 0.004$) de −5.5 %, a las 24 h ($p = 0.001$) de −7.3 % y a las 48 h ($p = 0.025$) de −5.0 %.

Los datos extraídos de los informes se resumen en la Tabla 2 (Apéndice A.7). En general, tanto el número como la gravedad de los síntomas e incidentes aumentaron conforme se incrementaba la distancia recorrida en kilómetros. Se observaron cambios significativos ($p < 0.001$), con un aumento en la fatiga percibida, dolor muscular, dolor articular, dificultad para respirar y sudoración excesiva a lo largo de los distintos segmentos de la prueba, así como temblores musculares ($p = 0.028$), con la excepción de las palpitaciones ($p = 0.189$). Los incidentes reportados tras la prueba que dificultaron su realización incluyeron, en general, fatiga e insuficiente recuperación previa a la prueba, numerosos casos de distensiones musculares y dolor en las plantas de los pies, cuádriceps, trapecios, zona lumbar y gemelos, así como dolor en articulaciones como rodillas y hombros, y aparición de ampollas.

6.4. DISCUSIÓN

Con el fin de observar nuevos hallazgos sobre la fatiga neuromuscular y la recuperación en los días posteriores a una prueba prolongada de marcha con carga bajo condiciones operativas militares, el objetivo de este estudio fue analizar y describir la fatiga neuromuscular y la recuperación subsecuente en los días siguientes, inducidas por una marcha militar de acondicionamiento de 30 km con 34 kg de equipo de combate. El hallazgo principal fue que la prueba causó una fatiga significativa en los soldados, quienes no recuperaron su fuerza absoluta total ni su potencia máxima en la parte inferior del cuerpo dentro de las 48 h, a pesar de una disminución sustancial en la fatiga percibida.

Después de completar la marcha de 30 km con 34 kg de equipo de combate, IMTP mostró un aumento tras la prueba. Se ha demostrado que la activación del sistema nervioso central (CNS) incrementa después de realizar tareas militares simuladas (209); por lo tanto, es posible que la prueba haya estimulado el sistema neuroendocrino, provocando valores que superan los niveles basales (210). Otros estudios (211,212) han observado una respuesta psicofisiológica elevada causada por el estrés en pruebas de combate simuladas, lo que resulta en una mayor activación del sistema nervioso simpático, que a su vez conduce a la liberación de

catecolaminas en el torrente sanguíneo, incrementando así la fuerza muscular, la frecuencia cardíaca y la presión arterial. A pesar de esto, la fuerza total producida mostró una disminución significativa a las 24 y 48 h; esto podría deberse a una reducción en la activación del CNS a medida que el cuerpo descansa y retorna a la homeostasis. Aunque los niveles de fuerza aumentaron tras la prueba, se debe prestar especial atención al realizar otros ejercicios o tareas.

Desde un punto de vista fisiológico, las actividades prolongadas, repetitivas e intensas inician un proceso que comienza con una inflamación aguda debido a microdaños en los tejidos involucrados en la actividad (incluyendo músculos, nervios, tendones y huesos), proporcional a la dosis–respuesta (213,214). Si la actividad continúa de la misma manera, la probabilidad de desarrollar una lesión por sobreuso aumenta considerablemente, conduciendo a inflamación crónica y fibrosis del sistema neuromuscular, lo que puede resultar en un funcionamiento estructural y operativo subóptimo (215).

El impacto drástico en la potencia de la parte inferior del cuerpo, que disminuyó tras esta exigente prueba, se reflejó en resultados significativamente reducidos en la altura máxima vertical alcanzada en el CMJ en distintos momentos temporales (posprueba, 24 h post y 48 h post). En contraste con nuestros hallazgos, un estudio observó que después de una marcha de 20 km con una carga adicional de 46 kg, la altura del salto vertical no mostró una disminución significativa (216). Además, otro estudio (181) que involucró una carrera de 10 km con diferentes cargas (10, 27 y 36 kg) encontró que la VJ y la PP fueron superiores tras la prueba en comparación con los valores basales.

No obstante, los datos del presente estudio son similares a los observados en Rangers estadounidenses después de 8 semanas de entrenamiento militar (172), donde la altura del salto vertical disminuyó aproximadamente un 16 %, la potencia de la parte inferior del cuerpo alrededor de un 21 % y la fuerza dinámica total de levantamiento cerca del 20 %. Nuestros hallazgos también coinciden con los observados en un estudio (217) tras una carrera de aproximadamente 30 km sin carga adicional, que mostró una disminución del 9.8 ± 7.1 % en la altura del salto vertical. Una tendencia similar se observó en la potencia máxima, que disminuyó ligeramente tras la prueba, seguida de una caída más pronunciada a las 24 h, continuando a las 48 h sin una mejora aparente. Por lo tanto, nuestros datos sugieren que el descanso debe ser proporcional al esfuerzo realizado, permitiendo una recuperación suficiente entre las actividades militares siempre que sea posible. Los valores de PEcc y la RFDEcc obtenidos en el CMJ disminuyeron tras la prueba, pero mostraron una recuperación rápida a las 24 h, superando los niveles basales a las 48 h.

De manera similar, la PCon y la RFDCon aumentaron inmediatamente después de la prueba, disminuyeron a las 24 h y se aproximaron a los valores

basales a las 48 h. Es bien sabido que la aplicación de fuerza concéntrica y excéntrica durante la carrera, siendo la fuerza excéntrica la que se aplica en mayor medida, está directamente correlacionada con la masa corporal (incluyendo la carga adicional) y la velocidad de carrera (218). Esto puede provocar microtraumas en la maquinaria contráctil de los músculos predominantemente utilizados durante la carrera, limitando así su capacidad para generar fuerza (219). No obstante, es posible que numerosas acciones excéntricas hayan ayudado a absorber la energía de cada impacto y a utilizarla durante la fase concéntrica propulsiva del ciclo de estiramiento-acortamiento, cuya función es potenciar el rendimiento durante dicha fase, tal como se ha observado previamente (220). A pesar de la recuperación y la supercompensación en los días siguientes, se recomienda actuar con precaución antes de introducir otro estímulo mediante el entrenamiento, ya que podría resultar contraproducente, especialmente durante maniobras de campo, donde el cuerpo se somete a factores adicionales de estrés como la falta de sueño, alimentación, entre otros.

A pesar de todo, el proceso por el cual los valores del IMTP posteriores a la prueba mostraron un aumento en comparación con la línea base, mientras que los valores del CMJ fueron significativamente menores, aún no está claro. Si realmente hubiera habido una activación del sistema nervioso central, esta debería haberse reflejado en ambas pruebas. Es posible que, aunque la parte superior del cuerpo tuvo que soportar peso durante toda la prueba mediante acciones isométricas, fuera la parte inferior la encargada de movilizar la masa del participante junto con la carga adicional. Por lo tanto, se considera que la fatiga periférica, causada por numerosas acciones concéntricas y excéntricas (221), así como diversas alteraciones funcionales derivadas de la exigente prueba de larga duración (222), pudo haber sido mayor en la parte inferior del cuerpo que en la parte superior, afectando los resultados de potencia observados en el CMJ.

Por otro lado, el Cuerpo de Infantería de Marina española está habituado a este tipo de pruebas de resistencia altamente exigentes, tanto física como psicológicamente, que son comunes en su labor cotidiana. En este contexto, la percepción de fatiga tras la marcha militar de acondicionamiento, representada por la escala ROF, fue coherente con los resultados observados en las pruebas neuromusculares, mostrando un aumento del 286.2 % en comparación con los valores basales y manteniéndose un 75 % por encima a las 48 h. Esto también se reflejó en las tendencias de rendimiento de la PLUmax, donde la capacidad disminuyó inmediatamente después de la prueba y se recuperó gradualmente a las 24 y 48 h. Además, la BM se mantuvo significativamente reducida 48 h después de la prueba, indicando signos de deshidratación que pudieron haber dificultado la recuperación en los días posteriores. Otros autores (180), que estudiaron una marcha de 20 km con diferentes cargas (34, 48 y 61 kg), observaron que la

intensidad percibida fue mayor con 34 kg en comparación con llevar 48 y 61 kg, y que el rendimiento en pruebas de circuito de obstáculos y tareas cognitivas fue significativamente inferior.

En virtud de lo anterior, la escala ROF es un indicador que, aunque subjetivo, es muy simple y rápido de obtener, y se recomienda encarecidamente su uso, ya que proporciona una visión clara del nivel de fatiga que experimenta el individuo. Esto permite realizar ajustes en la siguiente sesión de entrenamiento o en la preparación para la próxima tarea o actividad militar. Asimismo, se deberían considerar e implementar mejores estrategias de recuperación posprueba si el objetivo es recuperarse plenamente y lo antes posible para afrontar la siguiente actividad en condiciones óptimas.

Los resultados observados en la HGS mostraron un aumento en los valores tras la prueba. Estudios similares no reportaron cambios significativos después de una marcha cargada de 45 min con el 40 % de la masa corporal (223). Sin embargo, el incremento en la HGS observado en el presente estudio no es inédito (224,225) y podría deberse a una adaptación neuromuscular derivada de la familiaridad con este tipo de pruebas, lo que mitiga problemas de compresión del plexo braquial causados por el porte del equipo de combate sobre los hombros, como se ha observado en investigaciones previas (226,227). Además, niveles elevados de catecolaminas podrían haber contribuido al aumento de la fuerza de prensión tras la marcha de alta exigencia (180).

En cuanto a las diferencias en la HGS entre ambas manos, se observó un ligero déficit bilateral en nuestro estudio. Si dicho déficit supera el 10–15 % (228), podría afectar negativamente el desempeño en tareas militares específicas que requieren el desarrollo de fuerza absoluta (229), tales como el transporte de equipos pesados, municiones o la simulación de evacuación de bajas (230). Por lo tanto, la incorporación de ejercicios unilaterales de fuerza en las sesiones de entrenamiento sería una solución viable para reducir este déficit bilateral y equilibrar la fuerza entre ambas manos.

Finalmente, los datos recopilados a partir de los informes mostraron un aumento en las variables estudiadas proporcional a la duración y a los kilómetros recorridos durante la prueba. Se ha demostrado que a mayor duración y distancia en carrera con carga, el riesgo de lesión muscular o sobrecarga tisular aumenta debido a posibles alteraciones en las estructuras contráctiles de los músculos predominantemente implicados en dicha actividad (231). Estos resultados permiten al oficial al mando de la unidad evaluar la carga de trabajo tolerada e identificar posibles déficits en aspectos específicos de la condición física del soldado, facilitando así el diseño de sesiones de entrenamiento orientadas a mejorar el rendimiento en segmentos particulares de la prueba. En este sentido, la realización de entrenamientos específicos para la carrera con carga y

acondicionamiento aeróbico, combinados con el entrenamiento de fuerza, podría ser sin duda una solución altamente eficaz para mitigar de manera significativa el daño muscular y la fatiga tanto en hombres como en mujeres. Este enfoque beneficiaría tanto a los músculos del tronco superior e inferior responsables de acomodar y estabilizar el peso llevado sobre los hombros mediante la mochila y el portaplacas, como a los músculos implicados en la carrera, esenciales para absorber el impacto y propulsar tanto la masa corporal como la carga adicional en cada zancada (232). Sin embargo, sin una adecuada periodización del entrenamiento, alcanzar el equilibrio correcto entre el estímulo del entrenamiento y la recuperación puede resultar complicado, lo que podría derivar en lesiones para el personal militar y, consecuentemente, en pérdidas personales y económicas para las Fuerzas Armadas.

La principal limitación de este estudio fue la imposibilidad de estandarizar la ingesta de alimentos y líquidos antes, durante y después de la prueba, con el fin de homogeneizar el consumo dietético. Asimismo, el tamaño de la muestra pudo haberse visto significativamente reducido debido a la tasa de abandonos ocasionados por lesiones o enfermedades, dado el alto nivel de exigencia física de la prueba. Por ello, es imprescindible prestar especial atención a la recuperación y al manejo de las cargas de entrenamiento del personal militar en los días posteriores a este tipo de pruebas, debido a los elevados niveles de fatiga que inducen, especialmente si se requiere la realización de otros ejercicios militares comunes en un período corto de tiempo. En este contexto, el papel del instructor táctico de fuerza y acondicionamiento resulta fundamental.

6.5. CONCLUSIONES

En conclusión, basándose en los datos observados, los resultados indicaron que la prueba tuvo un impacto neuromuscular significativo, manteniéndose los valores por debajo de los niveles basales a las 48 h. Esto es especialmente relevante durante maniobras o ejercicios militares en unidades operativas, donde frecuentemente se realizan múltiples ejercicios de entrenamiento bajo condiciones estresantes. Cada una de las pruebas realizadas tiene como objetivo evaluar el desempeño en diversos aspectos relevantes para la profesión militar (como resistencia, fuerza muscular, potencia, coordinación, entre otros), ya que estos datos permiten comprender en qué medida una prueba de esta naturaleza afecta al personal militar en las tareas inherentes a su profesión que podrían tener que realizar en los días siguientes, tales como saltar o superar obstáculos, desplazarse con agilidad y coordinación, transportar y arrastrar cargas pesadas, correr largas distancias, entre otras (16). Con los avances en tecnología deportiva, el monitoreo regular del rendimiento neuromuscular, así como su evaluación antes y después de pruebas de alta exigencia, podría constituir una estrategia válida para valorar el

estado de rendimiento, seguir el progreso de la recuperación y garantizar adaptaciones neuromusculares óptimas.

6.6. APÉNDICES

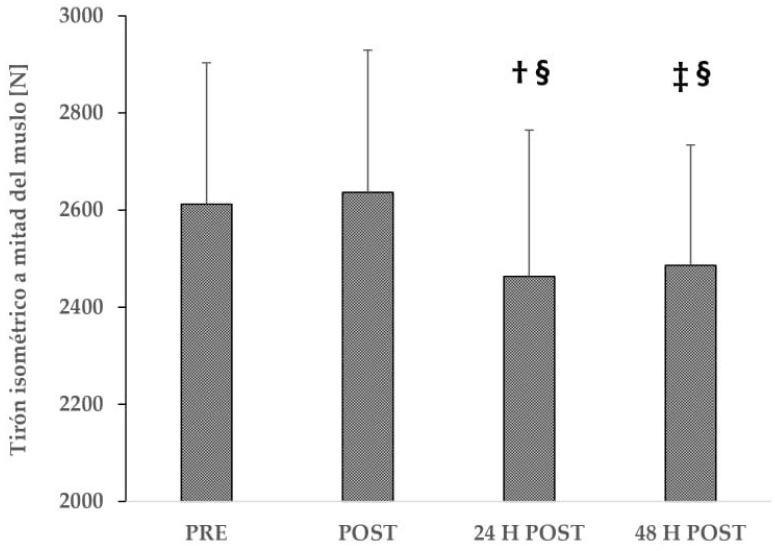
Tabla 1. Resultados de las variables de rendimiento en diferentes momentos.

	PRE	POST	24 H POST	48 H POST	ES [1]	ES [2]	ES [3]
ROF [puntos]	1.96 ± 0.56	7.57 ± 0.66 ‡	4.96 ± 1.19 ‡Ψ	3.43 ± 1.12 ‡ΨŦ	−6.29	−2.12	−1.10
BM [kg]	80.00 ± 7.79	77.26 ± 7.88 ‡	78.40 ± 7.81 ‡¥	78.55 ± 8.03 ‡Ψ	1.88	2.50	2.06
PLUmax [reps]	17.70 ± 3.23	13.91 ± 3.48 ‡	15.65 ± 2.72 ‡Ψ	16.65 ± 3.19 ‡ΨŦ	2.01	1.54	1.48
DHGS [kg]	49.71 ± 6.86	51.32 ± 7.38	51.21 ± 7.33	50.30 ± 6.94	−0.43	−0.35	−0.14
NDHGS [kg]	47.15 ± 7.05	48.65 ± 6.72	47.71 ± 6.31	47.90 ± 6.34	−0.22	−0.12	−0.12
IMTP [N]	2612.26 ± 290.99	2636.70 ± 292.59	2463.43 ± 301.28 †§	2486.43 ± 247.72 ‡§	−0.09	0.61	0.79
VJ CMJ [cm]	32.16 ± 5.96	27.78 ± 6.23 ‡	28.47 ± 4.81 ‡	27.67 ± 4.50 ‡	1.16	1.27	1.20
PP CMJ [W]	3741.83 ± 573.54	3703.17 ± 499.01	3420.83 ± 417.86 †¥	3401.26 ± 462.75 ‡¥	0.08	0.65	0.76
RFDEcc CMJ [N/s]	3469.65 ± 2562.48	3318.61 ± 1971.24	3695.43 ± 1978.30	3592.96 ± 2044.50	0.11	−0.16	−0.08
RFDCon CMJ [N/s]	1995.13 ± 1756.84	2123.52 ± 1509.48	1077.99 ± 935.26 †¥	1754.91 ± 1421.64 ð	−0.05	0.59	0.14
PEcc CMJ [N]	1605.13 ± 362.37	1494.83 ± 370.90 *	1598.30 ± 315.69 Ψ	1611.22 ± 315.12 ¥	0.51	0.03	−0.03
PCon CMJ [N]	1775.61 ± 250.79	1805.57 ± 197.93	1735.61 ± 217.53	1781.48 ± 231.25	−0.15	0.27	−0.05

BM: Masa corporal; CMJ: Salto con contramovimiento; DHGS: Fuerza de prensión manual de la mano dominante; ES[1]: Tamaño del efecto pre-post; ES[2]: Tamaño del efecto pre-24 h post; ES[3]: Tamaño del efecto pre-48 h post; IMTP: Tirón isométrico a mitad del muslo; NDHGS: Fuerza de prensión manual de la mano no dominante; PCon: Fuerza concéntrica máxima; PEcc: Fuerza excéntrica máxima; PP: Potencia máxima; PLUmax: Prueba de dominadas máximas en 2 min; RFD: Tasa de desarrollo de fuerza; ROF: Escala de valoración de la fatiga. VJ: Altura máxima de salto vertical desde el despegue. Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en relación con: (a) pre: * = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); † = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); (b) post: § = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); ¥ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); Ψ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); (c) 24 h post: ð = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); Ŧ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$).

Apéndice A2

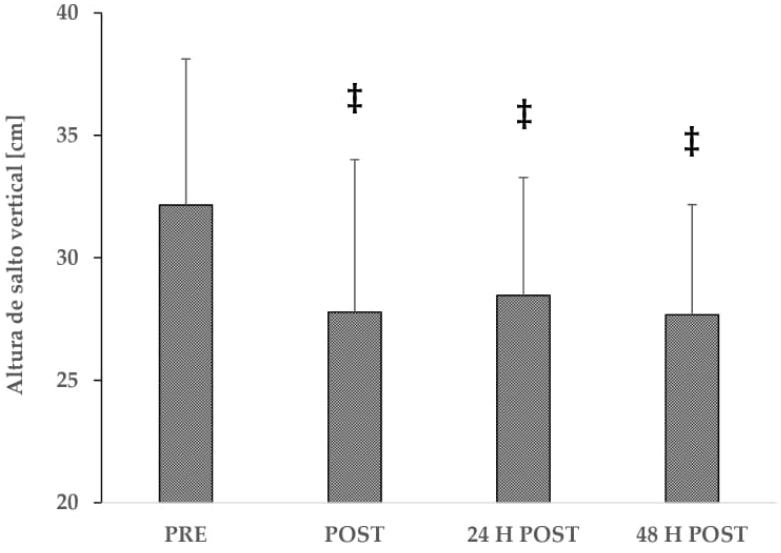
Figura 10. Evolución de los resultados de la prueba de tirón isométrico a mitad del muslo.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en relación con (a) pre: † = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); y (b) post: § = diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Apéndice A3

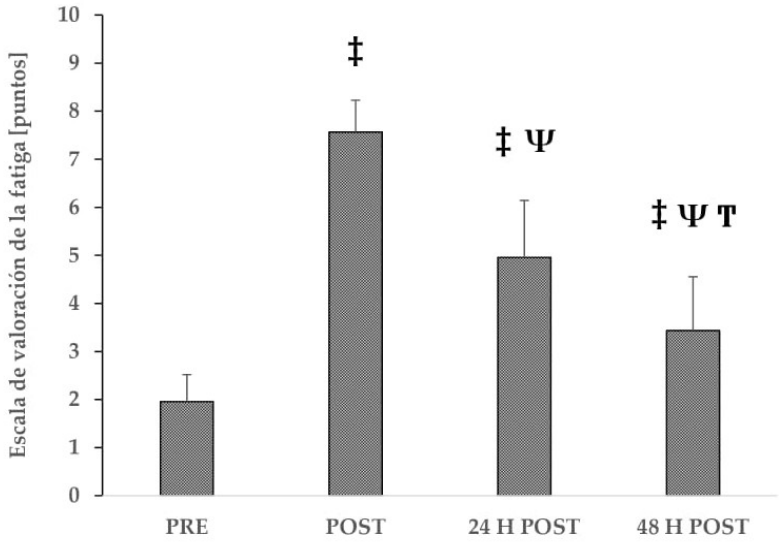
Figura 11. Evolución de los resultados de la prueba de altura de salto con contramovimiento.



Los valores se presentan como medias ± SD. El siguiente símbolo indica diferencias significativas en relación con pre: ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$).

Apéndice A4

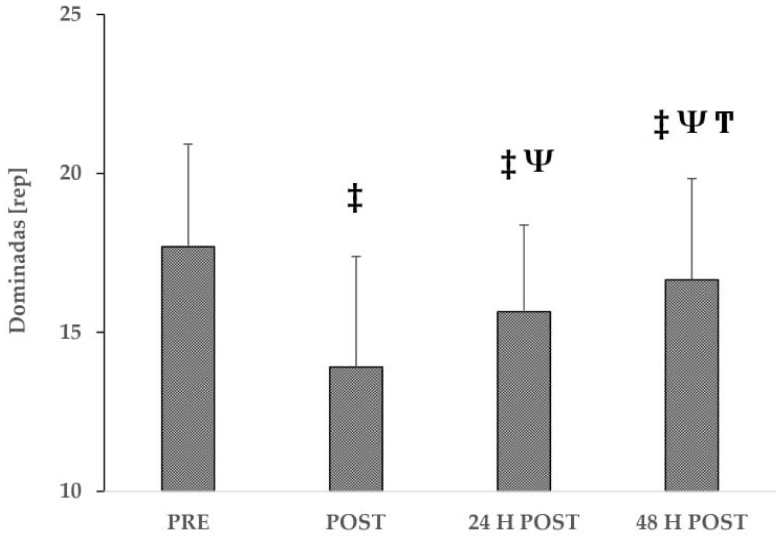
Figura 12. Evolución de los resultados de la prueba de valoración mediante escalas de fatiga.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en relación con (a) pre: ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); (b) post: Ψ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); y (c) 24 h post: Ŧ = diferencia altamente significativa ($p \leq 0.001$).

Apéndice A5

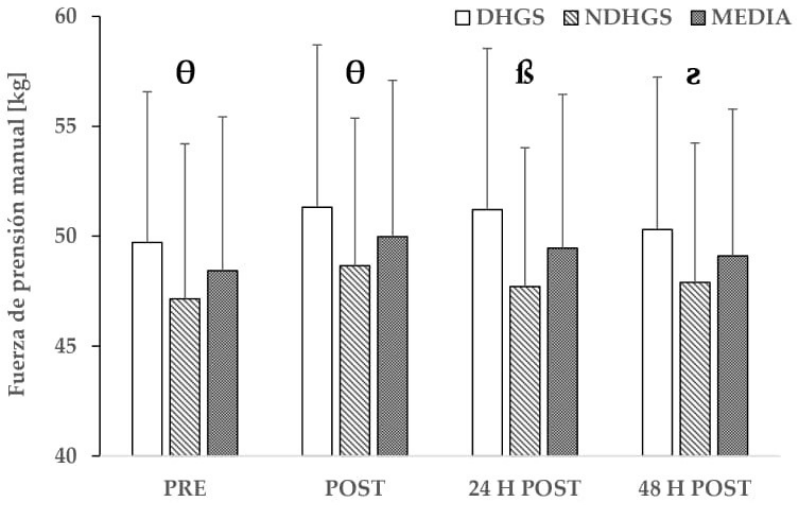
Figura 13. Evolución de los resultados de la prueba de dominadas.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en relación con (a) pre: ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); (b) post: Ψ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); y (c) 24 h post: Ŧ = diferencia altamente significativa ($p \leq 0.001$).

Apéndice A6

Figura 14. Evolución de los resultados de la prueba de evaluación de la fuerza de prensión manual.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas entre DHGS y NDHGS: ƨ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); θ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); ß = diferencia significativa ($p \leq 0.001$).

Apéndice A7

Tabla 2. Informe sobre incidencias y percepción de esfuerzo tras la marcha de endurecimiento con carga de 30 km.

	T1 (0–10 km)	T2 (10–15 km)	T3 (15–20 km)	T4 (20–25 km)	T5 (25–30 km)	ES [1]	ES [2]	ES [3]	ES [4]
Fatiga	30.00 ± 22.16	32.61 ± 22.00	37.83 ± 25.93 §	41.74 ± 26.74 †¥	54.78 ± 29.52 ‡ΨŦΣ	−0.15	−0.38	−0.60	−0.99
Dolor muscular	37.83 ± 24.30	39.13 ± 24.66	53.48 ± 23.86 †Ψ	61.30 ± 24.74 ‡Ψδ	70.43 ± 19.42 ‡ΨŦΘ	−0.06	−0.66	−1.31	−1.48
Dolor articular	33.91 ± 26.07	32.61 ± 22.00	40.43 ± 26.54 §	49.57 ± 29.46 ‡Ψδ	60.00 ± 28.60 ‡ΨŦΣ	0.06	−0.32	−1.02	−1.39
Dificultad respiratoria	24.78 ± 14.73	24.78 ± 14.73	24.78 ± 14.73	30.00 ± 20.23 *§δ	35.22 ± 23.33 †¥ŦΘ	ND	ND	−0.45	−0.71
Sudoración excesiva	27.39 ± 17.89	31.30 ± 19.14	31.30 ± 16.87	41.74 ± 25.16 †¥Ŧ	48.26 ± 25.16 ‡ΨŦ	−0.38	−0.29	−0.72	−0.91
Temblor muscular	24.78 ± 14.73	23.48 ± 12.65	24.78 ± 14.73	26.09 ± 16.44	30.00 ± 18.09 §δ	0.21	0.00	−0.12	−0.35
Palpitaciones	24.78 ± 14.73	26.09 ± 16.44	26.09 ± 16.44	26.09 ± 16.44	30.00 ± 20.23	−0.12	−0.12	−0.12	−0.30

ES[1]: Tamaño del efecto T1–T2; ES[2]: Tamaño del efecto T1–T3; ES[3]: Tamaño del efecto T1–T4; ES[4]: Tamaño del efecto T1–T5; ND: No determinado. Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en relación con: (a) 0–10 km: * = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); † = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); (b) 10–15 km: § = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); ¥ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); Ψ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); (c) 15–20 km: δ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); Ŧ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); Ŧ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); (d) 20–25 km: Θ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); Σ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$).

VII – ESTUDIO 2

VII - ESTUDIO 2

RESPUESTAS NEUROMUSCULARES A UNA CARRERA CONTRARRELOJ CON CARGA DE 5 KM POR INFANTES DE MARINA DEL EJÉRCITO ESPAÑOL

7.1. INTRODUCCIÓN

Las principales funciones de cualquier fuerza militar incluyen la defensa de la nación, la protección de sus ciudadanos y el mantenimiento de la paz, tanto a nivel nacional como internacional. Dentro del ámbito militar, las unidades especializadas desempeñan una amplia variedad de responsabilidades, cada una de ellas con un papel crucial para alcanzar estos objetivos generales. Entre las unidades militares más activas en el terreno operativo se encuentra la infantería, cuyos integrantes deben estar preparados para enfrentar y superar cualquier adversidad, por muy peligrosa que sea, adaptándose a entornos hostiles e impredecibles. Para cumplir exitosamente con su misión, los soldados de infantería requieren un alto nivel de acondicionamiento físico y mental que les permita responder a las exigencias de sus tareas operativas.

Esencialmente, a los soldados de infantería se les exige desplazarse de un punto a otro a través de terrenos inaccesibles para vehículos, todo ello mientras portan su equipo de combate. Con el tiempo, este equipo ha aumentado tanto en tamaño como en peso debido a la incorporación de elementos tecnológicos avanzados de combate y suministro, destinados a mejorar la protección frente a amenazas en constante evolución (69). Como resultado, los estándares mínimos de preparación física y operativa necesarios para desempeñar estas funciones también se han incrementado. En algunos casos, el éxito de la misión depende de la rapidez con que los soldados puedan llegar a un lugar designado o de su capacidad para sobrevivir alcanzando el punto de extracción en el menor tiempo posible mientras llevan su equipo. Esta necesidad operacional ha dado origen a una de las tareas militares más exigentes físicamente: la marcha con carga. Las marchas con carga son un componente esencial de las maniobras de entrenamiento militar, que requieren un alto nivel de esfuerzo físico (16). Esta tarea, que implica recorrer una distancia específica mientras se transporta equipo y material de combate en el menor tiempo posible, demanda una notable condición neuromuscular y aeróbica, con especial énfasis en la fuerza máxima y el consumo máximo absoluto de oxígeno (VO_2máx) (13). Debido a las elevadas demandas físicas, los soldados suelen experimentar un descenso significativo en su rendimiento físico, que puede prolongarse durante varios días después de la actividad (233). Esta disminución

puede manifestarse como reducción de la fuerza muscular, acumulación de fatiga y prolongación del tiempo de recuperación, lo que subraya la importancia de contar con estrategias adecuadas de recuperación y preparación física en contextos militares.

Esta prueba se realiza de manera rutinaria por parte de la Infantería de Marina como parte de su entrenamiento militar, siendo un componente obligatorio del programa de formación e instrucción de la Infantería de Marina española. El objetivo de la prueba es garantizar que los infantes de marina puedan cubrir una distancia determinada con todo el equipo e instrumentos necesarios para el éxito de la misión en menos de treinta min. La prueba simula una acción ofensiva en la que el soldado debe ejecutar maniobras de combate mientras porta el equipo individual a lo largo de una distancia establecida. Asimismo, reproduce escenarios en los que un equipo operativo debe alcanzar un punto de extracción en una zona segura dentro del tiempo asignado.

Las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo estas pruebas en un entorno militar, de manera similar a las de una misión real, rara vez son ideales. Estudios previos han demostrado que los factores de estrés que afectan el rendimiento operativo del personal militar (20,162) incluyen variables tanto intrínsecas como extrínsecas. Los factores intrínsecos comprenden la composición corporal, el género, la edad, la experiencia previa en entrenamiento, el nivel inicial de rendimiento físico, el historial de lesiones, el estilo de vida y variables psicosociales; mientras que los factores extrínsecos incluyen la privación del sueño, el balance energético negativo, la relación trabajo/descanso, las influencias sociales y ambientales, así como los métodos y materiales empleados en el entrenamiento prolongado de actividad física. Estos factores extrínsecos influyen significativamente en la aparición de lesiones por sobreuso en el personal militar debido a su incapacidad para soportar o mitigar el estrés generado por las cargas de entrenamiento (163). Además, la carrera con carga se ve afectada por limitaciones específicas de rendimiento que contribuyen al gasto energético y, en consecuencia, a la fatiga durante el ejercicio. Entre estas limitaciones se encuentran la masa de la carga, la masa corporal del individuo, la distribución de la carga, la velocidad de movimiento, el chaleco portaplacas, el tipo de terreno y las condiciones climáticas (183,184).

Estas pruebas suelen realizarse con fatiga acumulada de días anteriores y, a menudo, son seguidas por actividades militares adicionales como parte de los ejercicios de entrenamiento, generalmente con un descanso mínimo entre actividades y una ingesta limitada de sueño y alimentos. Estas condiciones, comunes en entornos militares, pueden afectar el rendimiento durante la prueba e influir en el impacto de la marcha con carga sobre el cuerpo, lo que podría disminuir la eficiencia en la ejecución de actividades posteriores en los días

siguientes. Además, esto puede incrementar el riesgo de lesión, ya que el cuerpo podría no recuperarse completamente del esfuerzo inicial. Es bien sabido que las tareas, actividades y entrenamientos militares (191), especialmente entre los soldados de infantería, aumentan la probabilidad de sufrir lesiones por sobreuso debido a tres escenarios principales (234): (a) un aumento rápido de la carga de entrenamiento tras un periodo de inactividad o baja actividad; (b) asumir una carga de entrenamiento que supera la capacidad individual; y/o (c) la participación prolongada en programas de entrenamiento de alto nivel, lo que conduce a la degradación de los tejidos musculoesqueléticos.

A pesar de los valiosos aportes de estudios previos (70,232), persiste una importante laguna en la literatura científica respecto a la investigación experimental. Si bien existen numerosas revisiones bibliográficas, los estudios experimentales son escasos y, en la mayoría de los casos, no logran simular adecuadamente los complejos factores ambientales y las exigencias operativas a las que se enfrentan los militares durante su entrenamiento y despliegue. Este estudio aporta una perspectiva innovadora al haberse realizado en condiciones operativas reales, alejándose de los entornos artificiales comúnmente empleados en investigaciones anteriores. A diferencia de estudios previos desarrollados en laboratorios o entornos controlados, esta investigación se llevó a cabo durante una prueba oficial del Ejército español que reproduce las condiciones de una misión o despliegue real. La prueba fue diseñada específicamente para evaluar el desempeño físico y operativo del personal militar, implicando una distancia superior a la referencia comúnmente utilizada de dos millas. Además, los participantes fueron infantes de marina experimentados, completamente entrenados y en óptimas condiciones físicas y mentales el día de la prueba. El equipo y armamento empleados fueron idénticos a los usados en escenarios reales de despliegue, garantizando así una elevada validez ecológica de los resultados. Todos estos elementos confieren un valor único al presente estudio dentro de la literatura científica.

Pocos estudios han documentado cómo las pruebas específicas militares (de 10 a 20 km, con cargas de 18 a 61 kg) afectan los sistemas neuromuscular y cardiorrespiratorio, así como el rendimiento en tareas militares concretas (180,181,216,235). Existe una carencia de investigaciones integrales que analicen los efectos combinados de la carga transportada, la velocidad de carrera y las condiciones reales de entorno, dado que estas variables suelen estar excesivamente controladas o simplificadas en entornos de laboratorio. Se ha demostrado que el VO_2máx, la fuerza máxima y la resistencia muscular se correlacionan de manera significativa con la carrera llevando cargas bajas a moderadas de entre 15 y 25 kg (236), bajo la premisa general de que esta correlación es proporcional a la carga transportada, la velocidad y la duración de la prueba. Las investigaciones han

evidenciado que la carga transportada y la velocidad de movimiento son los factores que más contribuyen a la fatiga durante la carrera con carga (184), y que la fatiga se retrasa en marchas prolongadas con carga cuando se realizan a intensidades inferiores aproximadamente al 47 % del VO_2max o a una velocidad de ~4.6 km/h (183). En particular, la velocidad de carrera juega un papel fundamental en la influencia sobre la fatiga y el rendimiento. La velocidad a la que el personal se desplaza durante marchas o carreras con carga impacta de forma significativa en la fatiga neuromuscular, el gasto energético y el rendimiento general (183,237). Dado que el personal militar opera con frecuencia a velocidades y distancias variables en entornos impredecibles, comprender cómo la velocidad interactúa con la carga y la fatiga en escenarios reales resulta esencial para optimizar los protocolos de entrenamiento y mejorar la preparación operativa.

Por lo tanto, dada la necesidad de realizar más investigaciones experimentales que reproduzcan condiciones reales para comprender mejor los efectos de la carga y la velocidad sobre el rendimiento, la recuperación y la resiliencia general en contextos militares, se requieren estudios adicionales que determinen cómo estas pruebas exigentes, tanto física como psicológicamente, impactan en el sistema neuromuscular y en el proceso de recuperación en los días posteriores a su realización. Comprender las demandas físicas de las pruebas de carrera con carga, sus efectos en el organismo y la recuperación de la fatiga en los días posteriores mediante pruebas de rendimiento neuromuscular realizadas antes y después del ensayo podría contribuir a optimizar la gestión de las cargas de entrenamiento. Esto permitiría asegurar un rendimiento óptimo durante estas pruebas y facilitar la consolidación de las adaptaciones fisiológicas. Por ello, el objetivo de este estudio fue analizar y describir la fatiga neuromuscular aguda y residual resultante de una carrera contrarreloj de 5 km con carga de 24 kg de equipo de combate.

7.2. MATERIALES Y MÉTODOS

7.2.1. Diseño del estudio

Se llevó a cabo un estudio descriptivo de medidas repetidas con 29 militares profesionales, que consistió en una prueba contrarreloj de 5 km en terreno llano utilizando un circuito de 500 m y una carga de combate de 24 kg. Las evaluaciones se realizaron antes de la prueba como referencia basal, inmediatamente después para evaluar los efectos agudos sobre la fatiga a corto plazo y el rendimiento neuromuscular, y nuevamente a las 24 y 48 horas posteriores para observar el impacto, la posible fatiga residual y la trayectoria de recuperación en relación con el rendimiento físico y la preparación operativa. La distancia total recorrida, el desnivel acumulado y otras variables de la prueba contrarreloj de 5 km fueron

registradas mediante relojes deportivos inteligentes idénticos equipados con tecnología GPS, lo que proporcionó datos detallados. Antes de la prueba, el equipo supervisor y de mando midió la distancia total del recorrido para asegurar su exactitud. Las características de la prueba se expresan como media ± SD. El peso total de la carga de combate fue de 24 kg, consistente en una mochila de supervivencia para 24 h, casco, fusil, botas y un chaleco portaplacas con portacargadores. Los participantes realizaron una sesión de familiarización con las pruebas antes de la implementación del estudio.

Los participantes se abstuvieron de realizar ejercicio vigoroso durante las 24 h previas al estudio. Tras completar un calentamiento general y un calentamiento específico posterior, se recogieron los datos previos al entrenamiento, incluyendo la edad, la estatura y la masa corporal (BM) de los participantes. La evaluación consistió en un ejercicio oficial administrado por la escuela militar como parte de sus maniobras programadas. La planificación y la carga de trabajo fueron cuidadosamente diseñadas y adaptadas específicamente para su ejecución el día de la prueba, asegurando que los soldados estuvieran completamente preparados y mentalmente enfocados para rendir al máximo. Como prueba oficial y evaluativa, integral al programa de la escuela, no constituyó una evaluación externa suplementaria. Además, se realizaron las siguientes pruebas de rendimiento en el orden predeterminado: lactato sanguíneo (BL), salto con contramovimiento (CMJ), tirón isométrico a mitad del muslo (IMTP), fuerza de prensión manual (HGS) y escala de valoración de fatiga (ROF). También se incluyó una prueba específica: número máximo de dominadas en 2 min (PLUmax). Estas pruebas se llevaron a cabo en el orden indicado, con descansos de 3 a 5 min entre cada una. Inmediatamente después de completar la prueba contrarreloj, se volvieron a recoger los datos y se repitieron las pruebas de rendimiento (posprueba) para evaluar la fatiga aguda. También se realizaron mediciones a las 24 y 48 h posteriores a la prueba para evaluar la fatiga residual. Finalmente, se completó un informe de incidencias y percepción de esfuerzo (IRPE) al término de la prueba.

7.2.2. Participantes

La muestra estuvo compuesta por 29 participantes masculinos (edad: 28.7 ± 4.7 años; estatura: 176.2 ± 5.4 cm; masa corporal: 78.4 ± 8.0 kg), todos ellos alumnos Sargentos en la Escuela de Infantería de Marina española. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (a) ser personal militar en servicio activo, (b) pertenecer al CAES (Curso de Acceso a la Escala de Suboficiales) del Cuerpo de Infantería de Marina, y (c) no presentar ninguna enfermedad, lesión o deficiencia diagnosticada. Los criterios de exclusión incluyeron: (a) la presencia de cualquier enfermedad, lesión o deficiencia diagnosticada que pudiera afectar el rendimiento físico durante el estudio, (b) estar bajo tratamiento farmacológico que pudiera influir en la

capacidad física, (c) no completar todas las fases y protocolos del estudio, y (d) la retirada voluntaria del estudio en cualquier momento. La muestra estuvo compuesta exclusivamente por hombres, dado que no había mujeres en el CAES durante el período del estudio. Antes del inicio del estudio, todos los participantes fueron informados sobre la naturaleza y los procedimientos de la intervención y firmaron un consentimiento informado por escrito conforme a la Declaración de Helsinki (198). El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), así como por los mandos de la Escuela de Infantería de Marina "General Albacete y Fuster" (Código de aprobación ética: CE102202, 28 de octubre de 2022).

7.2.3. Procedimientos

Calentamiento: Antes de cada sesión de recolección de datos, los participantes realizaron un protocolo de calentamiento estandarizado que comprendía los siguientes elementos: (a) ejercicios de movilidad articular: 1 serie de 10 repeticiones para cada uno de los siguientes movimientos: rotaciones de hombros, rotaciones de tronco, giros de cadera y flexiones de rodilla hacia adelante de pie; (b) estiramientos dinámicos: 1 serie de 10 repeticiones para cada uno de los siguientes ejercicios: flexión-extensión de cadera de pie con contacto con el suelo, estiramiento de isquiotibiales de pie levantando la pierna hasta la horizontal y tocando los dedos del pie con la mano; (c) ejercicios de activación metabólica: 1 serie de 8 a 20 repeticiones para cada uno de los siguientes ejercicios: jumping jacks, skipping, zancadas y burpees; y (d) ejercicio específico de fuerza: peso muerto con barra: serie 1 (4 × 20 kg), serie 2 (6 × 40 kg) y serie 3 (4 × 60 kg), con 1 a 2 min de descanso entre series.

Fuerza isométrica máxima de piernas y espalda: El tirón isométrico a medio muslo (IMTP) es un método bien establecido y confiable para evaluar la fuerza máxima global de un individuo (199). Los participantes realizaron el IMTP utilizando una máquina Smith colocada sobre una plataforma de fuerza portátil (Kistler 9286BA, Kistler Group, Winterthur, Suiza). La barra estaba fija en posición y su altura fue ajustada para que la distancia entre el trocánter mayor y el epicóndilo lateral de ambas rodillas fuera equidistante. Antes de la recolección de datos, el dispositivo fue calibrado según las especificaciones del fabricante para garantizar precisión y validez. Los participantes primero completaron una prueba preliminar submáxima (~70 % de esfuerzo) que duró entre 3 y 5 s. Posteriormente, realizaron dos intentos con esfuerzo máximo, con 20 s de descanso entre cada repetición. Se proporcionó estímulo verbal para asegurar el máximo esfuerzo. El valor más alto registrado fue utilizado para el análisis posterior.

Salto con contramovimiento (CMJ): El CMJ es una de las pruebas más validadas, fiables y ampliamente utilizadas para evaluar la potencia y fuerza de las

extremidades inferiores (200). El CMJ se realizó sobre una plataforma de fuerza portátil equipada con cuatro sensores piezoeléctricos ubicados en cada esquina, capaz de realizar análisis estabilométricos mediante las oscilaciones del centro de presión. La plataforma tenía un rango de medición de 400–600 mm y una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, lo que permitió registrar con precisión el desplazamiento y el tiempo de contacto del pie con la superficie de la plataforma. Antes de las mediciones, el dispositivo fue calibrado conforme a las instrucciones del fabricante para garantizar mediciones precisas y válidas. Los datos se registraron y analizaron utilizando el software de medición, análisis e informes de Kistler (MARS, 2012 S2P Ltd., Ljubljana, Eslovenia), que proporciona parámetros derivados de la sentadilla estables y confiables. MARS ha demostrado ser eficaz para el monitoreo individual y la detección de cambios en el rendimiento a lo largo del tiempo (201). Los participantes pudieron seleccionar libremente la profundidad del CMJ y fueron instruidos para aterrizar lo más cerca posible del punto de despegue. Cada participante realizó dos saltos, con un intervalo de descanso de un min entre ellos. Para el análisis se seleccionó el mejor salto, determinado por la máxima altura vertical alcanzada en el despegue. Los datos en bruto fueron exportados y se calcularon los siguientes parámetros mediante Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EE.UU.): altura máxima del salto vertical (VJ) en centímetros [cm], potencia máxima (PP) en vatios [W], fuerza excéntrica máxima (PEcc) y concéntrica máxima (PCon) en newtons [N], y tasa de desarrollo de fuerza (RFD) para las fases excéntrica (RFDEcc) y concéntrica (RFDCon), medidas en newtons por segundo [N/s].

Escala de valoración de fatiga (ROF): Se solicitó a los participantes que calificaran su nivel percibido de fatiga tras completar la prueba utilizando una escala numérica de 0 a 10, donde 0 representa un estado de reposo completo y 10 denota el esfuerzo o agotamiento máximo (202). Esta puntuación se utilizó para cuantificar la percepción subjetiva de fatiga experimentada por cada participante como respuesta al esfuerzo físico realizado durante la prueba.

Lactato sanguíneo (BL): Los niveles de BL se evaluaron únicamente en la fase posterior a la prueba. Para la comparación previa, se utilizaron valores estándar de lactato en reposo como referencia (238). El lactato posprueba se midió mediante una muestra capilar de sangre obtenida del dedo índice de la mano derecha. Primero se limpió la zona del sudor y luego se desinfectó con una gasa impregnada en alcohol. Se realizó una punción con una lanceta estéril de un solo uso. Se descartó la primera gota de sangre para evitar contaminación, y la segunda gota fue recolectada y aplicada en una tira reactiva que se insertó inmediatamente en un analizador portátil de lactato (modelo Lactate Pro 2, Arkray, Kioto, Japón) para su medición.

Máximo número de dominadas en 2 min (PLUmax): Esta prueba, ampliamente utilizada durante décadas para evaluar la fuerza y/o resistencia muscular en el personal militar (14,20), consistió en que los participantes realizaran el máximo número de dominadas posibles dentro de un límite de tiempo de 2 min, con la barbilla superando una barra horizontal. Las dominadas se ejecutaron con agarre prono, con las manos colocadas a la anchura de los hombros o más separadas. La posición inicial consistió en colgarse de la barra horizontal con los codos completamente extendidos y los pies sin contacto con el suelo. Cada repetición debía completarse tirando del cuerpo hacia arriba hasta que la barbilla superara la barra, asegurando específicamente que la nuez pasara por encima del nivel de la barra (203,204). La prueba finalizó cuando se alcanzó el agotamiento voluntario o al cumplirse los 2 min. Se requería que los participantes mantuvieran un agarre continuo en la barra durante toda la prueba, sin descender ni apoyarse en ninguna superficie para descansar. Se informó a los participantes que las repeticiones realizadas con técnica incorrecta o deficiente no serían contabilizadas. Se permitió un breve descanso de menos de 10 s, siempre manteniendo el agarre. Para el análisis se registró el número máximo de repeticiones válidas realizadas.

Fuerza de prensión manual (HGS): El HGS es una prueba fundamental utilizada para evaluar el rendimiento en tareas manuales de levantamiento y transporte, comunes en contextos militares (205). Se midió utilizando un dinamómetro de mano digital (modelo Camry EH101, Zhongshan Camry Electronic Co., Ltd., Zhongshan, China) para determinar la máxima fuerza isométrica de agarre. Se ha demostrado que esta variable se correlaciona fuertemente con indicadores generales de salud, resultados clínicos y fuerza corporal total (239). Durante la prueba, el hombro del brazo evaluado se mantuvo cercano al torso, con el codo flexionado a 90° y la muñeca en posición neutral. Se realizaron dos intentos de máxima fuerza para cada mano, dominante (DHGS) y no dominante (NDHGS), manteniendo cada contracción durante 3 s. Se permitió un intervalo de descanso de 30 a 60 s entre intentos. Para el análisis estadístico se utilizó el valor más alto registrado de cada mano.

Informe de incidencias y percepción de esfuerzo durante la prueba (IRPE): Al finalizar la prueba contrarreloj de 5 km, los participantes completaron un informe donde registraron cualquier incidente, molestia, síntoma o percepción subjetiva experimentada durante la prueba. Esto incluyó autoevaluaciones de fatiga, dolor muscular, dolor articular, dificultad para respirar, palpitaciones, sudoración excesiva y temblores musculares. Las valoraciones se realizaron mediante una escala ordinal de cuatro niveles: 0 (ninguno), 30 (leve), 60 (moderado), 90 (severo), y se registraron por separado para cada segmento de 1 km de la prueba (0–1 km, 1–2 km, 2–3 km, 3–4 km y 4–5 km). Además, se dispuso de una sección de

observaciones abiertas, donde los participantes podían describir cualquier incidente o dificultad notable experimentada durante la prueba de 5 km.

7.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Jamovi, versión 1.6 (The Jamovi Project, Sídney, Australia). Las inferencias se calcularon en función de la magnitud de las fluctuaciones en las variables de rendimiento en las mediciones preprueba, posprueba, 24 h y 48 h posprueba. Los resultados se expresaron como diferencias estandarizadas de medias (media ± SD) (206). Se evaluó la normalidad de los datos, confirmándose que todas las variables cumplían con los criterios establecidos. Para esta evaluación se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, considerando tanto el valor p como el estadístico W. Para valorar los efectos del tiempo, del grupo y su interacción, se realizó un análisis de varianza con medidas repetidas (ANOVA), incluyendo comparaciones múltiples entre los diferentes puntos temporales y protocolos de entrenamiento (tiempo × protocolos de entrenamiento). Posteriormente, cada variable estudiada fue comparada entre los distintos momentos mediante pruebas t para muestras relacionadas. El nivel de significación se estableció en $p \leq 0.05$. El tamaño del efecto (ES) se calculó mediante el coeficiente de correlación d de Cohen (207), comparando los valores preprueba con posprueba y preprueba con 24 h posprueba. Esta medida se utilizó para determinar la relevancia del efecto de cada variable, reflejando diferencias significativas entre los diferentes momentos de evaluación. El tamaño del efecto (ES) se interpretó según la clasificación del coeficiente d de Cohen de la siguiente manera: trivial (<0.2), pequeño (≥0.2–<0.6), moderado (≥0.6–<1.2), grande (≥1.2–<2.0), muy grande (≥2.0–<4.0) y extremadamente grande (≥4.0) (208). En resumen, se siguieron las recomendaciones para el uso de estadísticas en medicina deportiva y ciencias del ejercicio (208).

7.3. RESULTADOS

Con respecto a las características de la marcha recopiladas mediante relojes deportivos inteligentes similares de 12 participantes, los datos se presentan como media ± SD. La distancia total de la prueba fue inicialmente medida por el equipo supervisor y de mando para garantizar su precisión. La distancia total recorrida fue de 4.97 ± 0.05 km. El tiempo total fue de 28.06 ± 2.87 min. El ritmo medio de carrera fue de 5.65 ± 0.61 min por kilómetro. Las calorías totales estimadas quemadas fueron 416.25 ± 77.67 kcal, calculadas en función de las características antropométricas individuales, condición física y la actividad realizada, tales como edad, altura, masa corporal, sexo, tipo de actividad, duración, intensidad y frecuencia cardíaca durante la prueba. La frecuencia cardíaca promedio fue de

171.08 ± 16.69 latidos por min, alcanzando picos de 187.67 ± 14.54 lpm. La temperatura media durante la prueba fue de 27.66 ± 1.12 °C, con temperaturas máximas de 29.7 ± 1.0 °C. La velocidad media fue de 10.75 ± 1.13 km/h, alcanzando velocidades máximas de 13.59 ± 1.35 km/h. El tiempo total para los 29 participantes que completaron la prueba, expresado como media ± SD, fue de 28.86 ± 3.35 min.

La prueba IMTP reveló cambios significativos a lo largo del tiempo ($p < 0.001$) en la fuerza vertical máxima absoluta (Figura 15, Apéndice A.1). Esta fuerza aumentó un 1.67 % inmediatamente después de la prueba, pero mostró una disminución significativa del −6.29 % a las 24 h posprueba, y del −4.57 % a las 48 h posprueba en comparación con los valores previos a la prueba.

Con respecto a las variables del CMJ, el VJ mostró disminuciones significativas en los distintos momentos de evaluación ($p < 0.001$) (Figura 16, Apéndice A.2), al igual que el PEcc ($p < 0.001$) y el RFDEcc ($p < 0.001$). Sin embargo, no se observaron cambios relevantes en el PP ($p < 0.082$), el PCon ($p = 0.844$) ni el RFDCon ($p = 0.132$). La evolución de las variaciones en las variables del CMJ presentó diferencias a lo largo del tiempo. En concreto, el VJ no mostró un cambio significativo entre pre y posprueba (2.46 %), pero disminuyó un −3.25 % a las 24 h posprueba y un −3.51 % a las 48 h posprueba en comparación con los valores basales. El PEcc experimentó una disminución notable del −7.68 % inmediatamente después de la prueba, seguida de una leve recuperación del 0.21 % a las 24 h y un aumento del 3.51 % a las 48 h respecto a los valores previos a la prueba. El RFDEcc descendió un −14.93 % de pre a posprueba, seguido por un aumento significativo del 8.46 % a las 24 h y del 19.58 % a las 48 h en comparación con los valores preprueba. En contraste, las siguientes variables no mostraron cambios significativos: el PP disminuyó un −3.52 % de pre a posprueba, un −7.58 % de preprueba a las 24 h posprueba y un −5.12 % de preprueba a las 48 h posprueba. El PCon disminuyó un −0.51 % de pre a posprueba, un −0.78 % de preprueba a las 24 h posprueba y un 0.24 % de preprueba a las 48 h posprueba. Finalmente, el RFDCon aumentó un 9.21 % inmediatamente después de la prueba, pero disminuyó un −18.74 % a las 24 h y un −20.62 % a las 48 h en comparación con los valores preprueba.

Los resultados de las variables de rendimiento se resumen en la Tabla 3. La ROF mostró un aumento significativo a lo largo del tiempo ($p < 0.001$), con un incremento del 282.48 % inmediatamente después de la prueba (Figura 17, Apéndice A.3). Posteriormente, se observó una disminución gradual del 76.07 % a las 24 h y del 53.42 % a las 48 h en comparación con los valores previos a la prueba. La prueba BL evidenció un aumento significativo ($p < 0.001$) desde antes hasta después de la prueba, con un incremento del 378.64 %. La variable BM presentó cambios significativos a lo largo del tiempo ($p < 0.001$), permaneciendo por debajo de los valores basales en −0.55 % inmediatamente después de la prueba y en −0.59

% a las 24 h posprueba. Sin embargo, volvió a los niveles basales (+0.01 %) a las 48 h posprueba. La PLUmax mostró disminuciones significativas en los distintos momentos evaluados ($p < 0.001$) (Figura 18, Apéndice A.4), con reducciones del −11.23 % de pre a posprueba, del −13.19 % de preprueba a las 24 h posprueba y una ligera recuperación del −9.38 % a las 48 h posprueba, aunque todavía por debajo de los valores basales.

Tabla 3. Resultados de las variables de rendimiento en diferentes momentos.

	PRE	POST	24 H POST	48 H POST	ES[1]	ES[2]	ES[3]
ROF [puntos]	2.34 ± 0.81	8.95 ± 0.76 ‡	4.12 ± 1.02 ‡Ψ	3.59 ± 0.63 ‡Ψ₸	−7.18	−1.39	−1.17
BM [kg]	78.43 ± 7.99	78.00 ± 7.94 ‡	77.97 ± 8.06 ‡	78.44 ± 8.11 ¥₸	0.94	0.78	−0.02
BL [mmol/L]	2.20 ± 0.00 [17]	10.53 ± 3.91 ‡	ND	ND	−2.13	ND	ND
PLUmax [reps]	17.28 ± 4.73	15.34 ± 4.41 ‡	15.00 ± 3.66 ‡	15.66 ± 3.67 ‡δ	0.75	0.79	0.74
DHGS [kg]	52.04 ± 7.60	50.60 ± 8.04	51.17 ± 7.17	51.26 ± 6.64	0.30	0.23	0.18
NDHGS [kg]	49.12 ± 6.57	48.76 ± 7.43	48.86 ± 6.64	49.46 ± 6.78	0.08	0.07	−0.08
IMTP [N]	2590.07 ± 301.98	2633.31 ± 340.13	2427.10 ± 301.71 ‡Ψ	2471.79 ± 311.95 †Ψ	−0.25	1.04	0.61
VJ CMJ [cm]	31.35 ± 5.00	32.12 ± 5.45	30.33 ± 5.12 *¥	30.25 ± 4.97 *¥	−0.29	0.40	0.41
PP CMJ [W]	3690.31 ± 691.40	3560.24 ± 660.33	3410.76 ± 486.57	3501.48 ± 521.17	0.16	0.46	0.28
RFDEcc CMJ [N/s]	3592.31 ± 1743.92	3055.97 ± 1833.50	3896.31 ± 1759.16 §	4295.83 ± 1533.59 *Ψ	0.36	−0.20	−0.50
RFDCon CMJ [N/s]	1436.45 ± 855.45	1568.76 ± 1168.78	1167.28 ± 813.54	1140.21 ± 1046.26	−0.11	0.32	0.25
PEcc CMJ [N]	1628.83 ± 319.79	1503.79 ± 326.18 *	1632.24 ± 256.82 §	1686.00 ± 249.49 Ψ	0.39	−0.02	−0.36
PCon CMJ [N]	1743.07 ± 228.25	1734.14 ± 233.22	1729.48 ± 214.97	1747.31 ± 204.42	0.07	0.13	−0.04

BM: Masa corporal; CMJ: Salto con contramovimiento; DHGS: Fuerza de prensión manual de la mano dominante; ES[1]: Tamaño del efecto pre–post; ES[2]: Tamaño del efecto pre–24 h post; ES3: Tamaño del efecto pre–48 h post; IMTP: Tirón isométrico a mitad del muslo; ND: No determinado; NDHGS: Fuerza de prensión manual de la mano no dominante; PCon: Fuerza concéntrica máxima; PEcc: Fuerza excéntrica máxima; PP: Potencia máxima; PLUmax: Prueba de dominadas máximas en 2 min; RFD: Tasa de desarrollo de fuerza; ROF: Escala de valoración de la fatiga; y VJ: Altura máxima del salto vertical desde el despegue. Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores: (a) pre: (*): diferencia significativa ($p \leq 0.05$); (†): diferencia muy significativa ($p \leq 0.01$); (‡): diferencia extremadamente significativa ($p \leq 0.001$); (b) post: (§): diferencia significativa ($p \leq 0.05$); (¥): diferencia muy significativa ($p \leq 0.01$); (Ψ): diferencia extremadamente significativa ($p \leq 0.001$); (c) 24 h post: (δ): diferencia significativa ($p \leq 0.05$); (₸): diferencia muy significativa ($p \leq 0.01$); (Ŧ): diferencia extremadamente significativa ($p \leq 0.001$).

La HGS no mostró cambios significativos en general a lo largo del tiempo ($p = 0.647$) (Figura 19, Apéndice A.5). Al analizar cada mano de forma individual, la DHGS tampoco presentó cambios significativos con el tiempo ($p = 0.406$), aunque disminuyó un −2.77 % inmediatamente después de la prueba, un −1.67 % a las 24 h y un −1.50 % a las 48 h en comparación con los valores basales. De manera similar, la NDHGS no varió significativamente con el tiempo ($p = 0.805$), con disminuciones de −0.73 % de pre a posprueba, −0.53 % de preprueba a las 24 h posprueba y un ligero aumento de +0.69 % de preprueba a las 48 h posprueba. En contraste, se observaron diferencias significativas entre la mano dominante y la no dominante ($p = 0.004$), con una media de 51.29 ± 7.30 para la DHGS y de 49.05 ± 6.78 para la NDHGS, resultando en una diferencia del −4.57 %. La diferencia en la HGS entre ambas manos fue significativa en varios momentos: −5.94 % ($p = 0.001$) en la preprueba, −3.77 % ($p = 0.038$) en la posprueba, −4.73 % ($p = 0.020$) a las 24 h posprueba y −3.70 % ($p = 0.043$) a las 48 h posprueba.

Los datos de la evaluación IRPE se resumen en la Tabla 4. En general, el número y la severidad de síntomas e incidentes aumentaron con la distancia recorrida. Se observaron cambios significativos ($p < 0.001$) en los diferentes segmentos de la prueba para todos los parámetros evaluados, incluyendo la fatiga percibida, el dolor muscular, el dolor articular, la dificultad para respirar, las palpitaciones, la sudoración excesiva y los temblores musculares.

Tabla 4. Informes de incidencias y percepción de esfuerzo tras la marcha de resistencia de 5 km.

	T1 (0–1 km)	T2 (1–2 km)	T3 (2–3 km)	T4 (3–4 km)	T5 (4–5 km)	ES[1]	ES[2]	ES[3]	ES[4]
Fatiga	14.48 ± 15.26	23.79 ± 25.83 †	40.34 ± 26.92 ‡Ψ	67.24 ± 28.52 ‡ΨΤ	75.52 ± 28.48 ‡ΨΤΰ	−0.57	−1.35	−2.12	−2.25
Dolor muscular	13.45 ± 15.18	16.55 ± 20.58	25.86 ± 29.70 ‡Ψ	37.24 ± 29.63 ‡ΨΤ	45.52 ± 37.38 ‡ΨΤ	−0.33	−0.66	−1.09	−1.11
Dolor articular	11.38 ± 14.81	13.45 ± 18.95	18.62 ± 28.25 *§	25.86 ± 33.76 †¥ð	27.93 ± 38.39 †¥ð	−0.27	−0.42	−0.58	−0.58
Dificultad respiratoria	12.41 ± 15.04	22.76 ± 27.37 †	34.14 ± 32.79 ‡Ψ	42.41 ± 37.19 ‡Ψð	60.00 ± 34.95 ‡ΨΤΣ	−0.56	−0.96	−1.13	−1.75
Sudoración excesiva	13.45 ± 17.17	25.86 ± 23.68 ‡	37.24 ± 27.37 ‡¥	61.03 ± 28.33 ‡ΨΤ	73.45 ± 23.49 ‡ΨΤΰ	−0.83	−1.09	−1.75	−2.26
Temblor muscular	11.38 ± 14.81	14.48 ± 20.63	17.59 ± 27.21	22.76 ± 31.72 †§	23.79 ± 32.45 †¥ð	−0.33	−0.37	−0.52	−0.57
Palpitaciones	10.34 ± 14.51	15.52 ± 24.87	26.90 ± 33.39 ‡¥	30.00 ± 36.74 ‡Ψ	28.97 ± 37.16 ‡¥	−0.37	−0.67	−0.81	−0.76

ES[1]: tamaño del efecto T1–T2; ES[2]: tamaño del efecto T1–T3; ES[3]: tamaño del efecto T1–T4; ES[4]: tamaño del efecto T1–T5. Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores: (a) 0–1 km: (*): diferencia significativa ($p \leq 0.05$); (†): diferencia muy significativa ($p \leq 0.01$); (‡): diferencia extremadamente significativa ($p \leq 0.001$); (b) 1–2 km: (§): diferencia significativa ($p \leq 0.05$); (¥): diferencia muy significativa ($p \leq 0.01$); (Ψ): diferencia extremadamente significativa ($p \leq 0.001$); (c) 2–3 km: (ð): diferencia significativa ($p \leq 0.05$); (Ŧ): diferencia muy significativa ($p \leq 0.01$); (Ŧ): diferencia extremadamente significativa ($p \leq 0.001$); y (d) 3–4 km: (ΰ): diferencia muy significativa ($p \leq 0.01$); (Σ): diferencia extremadamente significativa ($p \leq 0.001$).

Los incidentes registrados en el informe posprueba que afectaron el desempeño durante la prueba fueron, en términos generales, atribuidos a la fatiga y a una recuperación insuficiente antes de la prueba, así como a varios casos de distensiones musculares y dolor en las plantas de los pies, el pecho, los cuádriceps y la zona lumbar. Además, más del 70 % de los participantes reportaron signos evidentes de fatiga y déficit de rendimiento debido a las altas temperaturas del día de la prueba, junto con síntomas de deshidratación, sudoración excesiva, mareos, náuseas, fuertes dolores de cabeza y una reducción en la capacidad de correr causada por la exposición al calor.

7.4. DISCUSIÓN

Para obtener nuevos conocimientos sobre la fatiga neuromuscular y la recuperación tras una prueba contrarreloj de 5 km con una carga de combate de 24 kg bajo condiciones militares operativas, este estudio tuvo como objetivo analizar y describir el impacto neuromuscular de la prueba y la progresión de la fatiga en los días posteriores. El hallazgo principal fue que la prueba provocó inicialmente un aumento en la fuerza isométrica absoluta general y en la potencia de la parte inferior del cuerpo inmediatamente después de su finalización. Sin embargo, esto fue seguido por una fatiga neuromuscular significativa, sin evidencia de recuperación completa tras 48 h.

A pesar de las altas demandas físicas de la prueba, los valores de IMTP posprueba aumentaron cerca de un 2 % en comparación con los valores basales, para luego mantenerse significativamente reducidos tanto a las 24 como a las 48 h. Un estudio previo (180) observó una disminución significativa en la fuerza de la parte inferior del cuerpo después de una marcha de 20 km con cargas de 34, 48 y 61 kg. En contraste, los valores aumentados observados tras la prueba en el presente estudio pueden atribuirse a una mayor activación psicofisiológica del sistema nervioso simpático, probablemente causada por el estrés de la prueba (212). Esta respuesta fisiológica y psicológica reversible al estrés conduce a una alteración en la excitación cortical, lo que a su vez incrementa la frecuencia cardíaca, la fuerza muscular, el metabolismo energético, los niveles de cortisol y la temperatura corporal, a la vez que distorsiona la percepción de fatiga (209,240). Este estado de sobreexcitación podría ser crucial para la supervivencia en escenarios de combate real, donde el éxito o el fracaso pueden marcar la diferencia entre la vida y la muerte. Sin embargo, se debe actuar con precaución antes de realizar esfuerzos submáximos adicionales, ya que es probable que el sistema neuromuscular experimente una fatiga considerable tras tales actividades. La fatiga acumulada puede afectar el control neuromuscular durante movimientos dinámicos, aumentando potencialmente la tensión en otras estructuras y elevando el riesgo de lesiones musculoesqueléticas por sobreuso (241,242). Además, pueden ocurrir

variaciones inconscientes en el rendimiento motor como mecanismo protector para evitar la sobrecarga de los tejidos implicados en tareas repetitivas o continuas (243), lo que podría contribuir aún más a incrementar el riesgo de lesión.

De manera similar, el VJ medido durante el CMJ mostró un aumento inicial tras la prueba, pero luego disminuyó significativamente a las 24 y 48 h. Dado que la prueba probablemente indujo menos fatiga metabólica en comparación con otros ejercicios de larga duración, es posible que la alta tensión mecánica resultante de las acciones excéntricas repetidas para absorber la masa corporal, combinada con la carga adicional llevada en cada zancada y la importante participación de la fase excéntrica en la carrera a alta velocidad, haya contribuido a la potenciación post-activación, contrarrestando así la fatiga inducida (222). Un efecto similar fue observado en el estudio (244) realizado con corredores de larga distancia subélite, donde tras una sesión vigorosa de entrenamiento consistente en 4×(3×400m/1')/3', más de la mitad de los participantes experimentaron potenciación post-activación en fuerza y potencia. Esto sugiere que los atletas entrenados son capaces de mantener su capacidad de trabajo a pesar del esfuerzo significativo, tal como evidencian los resultados tanto de la prueba IMTP como del VJ. El desempeño en esta disciplina parece estar influenciado no solo por adaptaciones metabólicas, sino también por adaptaciones neuromusculares específicas derivadas del tipo de entrenamiento. Hallazgos similares han sido documentados previamente (245), donde el VJ aumentó, mientras que la fuerza máxima de torque disminuyó tras una prueba máxima de carrera. Otro estudio observó que después de completar una marcha de 10 km con cargas de 18, 27 y 36 kg, el VJ y la potencia máxima aumentaron un 13.05 %, 8.51 % y 2.36 %, respectivamente (181). Los resultados obtenidos en el presente estudio, comparados con otras pruebas de larga duración con cargas más pesadas, ponen de manifiesto el papel de la velocidad media de carrera, que se traduce en una mayor intensidad del ejercicio. El entrenamiento militar se caracteriza típicamente por altos volúmenes de ejercicio a baja intensidad; por lo tanto, es necesario incorporar sesiones de mayor intensidad para estimular estas vías metabólicas, al tiempo que se mejora el reclutamiento de fibras musculares, en concordancia con el principio de tamaño. Esta adaptación permite una mayor fuerza y potencia muscular, incluso tras esfuerzos prolongados, lo que podría mejorar el rendimiento en misiones reales mediante la potenciación de la activación del sistema nervioso central.

Otras variables evaluadas en la prueba del CMJ, como la PP, mostraron un descenso gradual tras la finalización de la prueba, con una leve recuperación observada a las 48 h. De manera similar, la PEcc y la RFDEcc disminuyeron inmediatamente después de la prueba, pero los valores a las 24 y 48 h indicaron una supercompensación por encima de los niveles basales. En contraste, la RFDCon aumentó inmediatamente tras la prueba, pero luego disminuyó a las 24 y 48 h en

comparación con los valores iniciales, mientras que la PCon se mantuvo reducida en todos los momentos evaluados, mostrando solo un ligero incremento a las 48 h posprueba. Investigaciones previas han demostrado que, durante la carrera, las acciones excéntricas del pie de apoyo contribuyen a potenciar las acciones propulsivas concéntricas al absorber energía mecánica y convertirla en energía elástica mediante ciclos de estiramiento-acortamiento, mejorando así la economía de carrera (246,247). Las acciones excéntricas aportan de manera más significativa que las concéntricas al rendimiento mecánico en términos de fuerza y potencia, lo que favorece la propulsión. Esta diferencia se hace más evidente a medida que aumenta la velocidad de movimiento (248). En este estudio, la velocidad media durante la prueba fue de 10.8 km/h, alcanzando picos de hasta 13.6 km/h. Se ha demostrado que a 4.6 km/h (~45 % VO_2max) existe un punto de inflexión en el que el gasto energético aumenta considerablemente (183). Por lo tanto, es plausible que las demandas de la prueba, caracterizadas por numerosas acciones excéntricas cuya intensidad se vio amplificada tanto por la velocidad de movimiento como por la carga adicional transportada (218), hayan provocado la disminución posprueba en la PEcc y la RFDEcc, seguida de una supercompensación y un ciclo de estiramiento-acortamiento mejorado. Esto queda evidenciado por el aumento en la RFDCon y los valores supercompensados de PCon tras la prueba (220).

Los valores de la ROF mostraron un aumento considerable en la fatiga percibida tras la prueba, incrementándose aproximadamente un 282.5 %. Sin embargo, la recuperación fue relativamente rápida, con valores que se acercaron nuevamente a la línea base a las 24 y 48 h. El número y la gravedad de los síntomas e incidentes aumentaron conforme se incrementó la distancia recorrida, destacándose síntomas notables como fatiga, dificultad para respirar y sudoración excesiva. De manera correspondiente, los niveles de BL aumentaron en casi un 378.6 % en comparación con los valores previos a la prueba. Aunque la prueba fue predominantemente aeróbica (16), los elevados niveles de lactato sugieren una dependencia significativa del metabolismo de carbohidratos (249), así como una capacidad reducida para eliminar el lactato acumulado debido a que la intensidad del ejercicio superó el umbral máximo de lactato estable. Para mantener el rendimiento y mitigar el riesgo de deshidratación, sería altamente beneficioso implementar una estación de avituallamiento que proporcione alimentos e hidratación durante la prueba, especialmente en condiciones de altas temperaturas similares a las observadas en este estudio.

Además, los factores ambientales agravaron la dificultad de la prueba. Las temperaturas elevadas contribuyeron a la aparición prematura de fatiga en todos los participantes, afectando negativamente su desempeño. Esto se reflejó en las mediciones de BM, que mostraron una disminución significativa que persistió hasta las 24 h, recuperándose a los valores basales a las 48 h. La reducción

observada en la BM sugiere que los participantes no experimentaron una deshidratación severa. No obstante, podrían ser necesarias estrategias de recuperación mejoradas, dado que la BM se mantuvo por debajo de la línea base a las 24 h posprueba. Asimismo, la inclusión de una estación de avituallamiento con alimentos y agua habría sido una estrategia eficaz para contrarrestar los efectos adversos de las altas temperaturas, especialmente en días excepcionalmente calurosos.

La evolución de la PLUmax a lo largo de las diferentes evaluaciones pone de manifiesto el impacto negativo que tuvo la carrera de 5 km con carga de 24 kg sobre el rendimiento en tareas militares específicas, ya que todos los valores medios en los distintos momentos se mantuvieron por debajo de los niveles basales. En consonancia con estos hallazgos, estudios previos (180,181,216) han reportado un descenso significativo en la precisión de tiro y la distancia en el lanzamiento de granadas tras marchas de 10 a 20 km con cargas que oscilaron entre 34 y 61 kg. Ante estos resultados, es fundamental que quienes realicen pruebas similares prioricen estrategias efectivas de recuperación para restaurar sus niveles de rendimiento lo más rápidamente posible, sobre todo cuando se enfrentan a esfuerzos repetidos durante días consecutivos, como ocurre en maniobras de entrenamiento o ejercicios militares prolongados.

Los valores de fuerza de prensión manual para ambas manos (DHGS y NDHGS) se mantuvieron por debajo de los niveles basales en todos los momentos evaluados, sin que se observaran cambios significativos. Sin embargo, a las 48 h se observó un leve aumento por encima de la línea base en la mano no dominante. Investigaciones previas han reportado asimismo una reducción en la fuerza isométrica de agarre hasta por 72 h después de ocho días de maniobras militares (250). Al igual que en el estudio mencionado, esta disminución en la fuerza de agarre podría atribuirse a una reducción en la activación neural, así como a descensos en la tasa de disparo, sincronización o reclutamiento de unidades motoras (251), probablemente derivados de la fatiga inducida por la prueba. Además, se observó una diferencia aproximada del 5 % entre la mano dominante y la no dominante. Aunque este déficit no alcanza el umbral asociado a un mayor riesgo de lesión (10–15 %) (228), las diferencias bilaterales pueden representar una limitación durante el esfuerzo físico y aumentar la probabilidad de lesiones, especialmente al realizar esfuerzos cercanos a la máxima capacidad. Se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza puede mitigar estos desequilibrios, mejorando así el rendimiento físico en tareas específicas militares y reduciendo el riesgo de lesiones (252).

La principal limitación de este estudio fue la imposibilidad de estandarizar la ingesta de alimentos y líquidos antes, durante y después de la prueba, lo cual habría garantizado una uniformidad en la alimentación entre los participantes.

Además, el tamaño de la muestra pudo haber sido limitado debido a las exigencias físicas que impone la prueba. Para las personas que deben realizar pruebas de carrera con carga, es fundamental contar con una base sólida de fuerza muscular general que les permita afrontar las demandas específicas de esta actividad. Esta fuerza básica es crucial para absorber las elevadas fuerzas de reacción del suelo generadas por los impactos repetidos de la carrera, las cuales aumentan a mayor velocidad. Por lo tanto, resulta imprescindible la colaboración con un entrenador de fuerza y acondicionamiento físico, que pueda diseñar un programa de entrenamiento personalizado para optimizar el rendimiento en la prueba, asegurar una recuperación eficaz y apoyar un desarrollo progresivo del entrenamiento.

Las futuras líneas de investigación que podrían derivarse del presente estudio incluyen la evaluación de pruebas o tareas militares similares bajo condiciones reales, incorporando períodos de recuperación que se extiendan más allá de las 48 h posteriores a la evaluación, con un enfoque en el seguimiento del rendimiento y la recuperación neuromuscular. Asimismo, estudios futuros podrían investigar el impacto de este tipo de pruebas sobre el sistema endocrino cuando se realizan bajo condiciones de estrés que reproduzcan con mayor fidelidad las situaciones operativas. Además, se podrían plantear investigaciones dirigidas a cuantificar o proponer estrategias de ingesta nutricional antes, durante y en los días posteriores a la prueba, con el objetivo de mejorar el rendimiento tanto en la prueba misma como en tareas militares específicas. También se podrían explorar enfoques alternativos para acelerar la recuperación neuromuscular tras la prueba, con la finalidad de restaurar la óptima preparación para el combate en el menor tiempo posible.

Finalmente, en cuanto a la relevancia práctica y las implicaciones para el entrenamiento militar y los entornos operativos reales, nuestros hallazgos pueden contribuir al desarrollo de programas de entrenamiento que incorporen períodos de recuperación más prolongados, especialmente después de la realización de pruebas físicas altamente exigentes bajo condiciones ambientales adversas, dado que se observó una recuperación incompleta a las 48 h posprueba. Asimismo, la implementación de un monitoreo del rendimiento neuromuscular sería de gran ayuda para identificar a los individuos que toleran y se recuperan adecuadamente del estrés inducido por la carga de entrenamiento, así como a aquellos que no lo hacen, contribuyendo de esta forma a reducir el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Este enfoque también resultaría particularmente adecuado antes de participar en otras actividades o maniobras militares físicamente demandantes. Además, nuestros resultados sugieren que las tareas militares, así como la secuencia en la que se ejecutan, deberían ser priorizadas estratégicamente, ya que la fatiga sustancial inducida por dichas pruebas puede afectar negativamente la ejecución y eficacia de las operaciones militares posteriores.

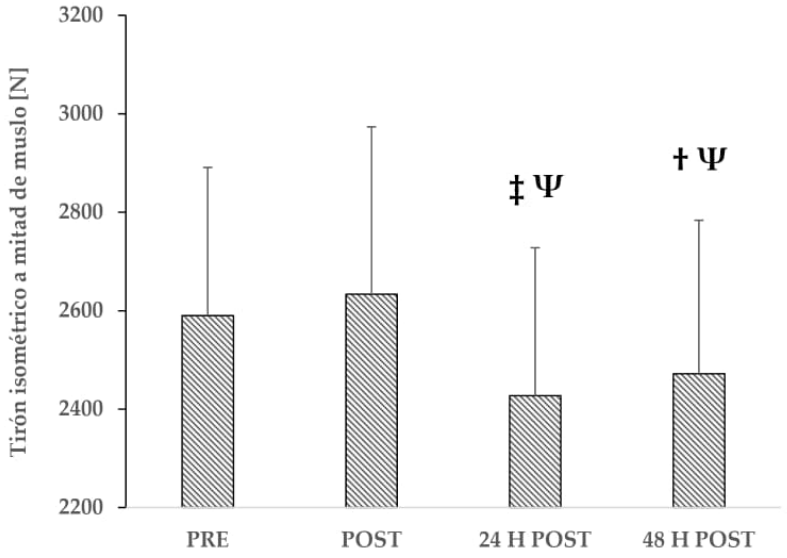
7.5. CONCLUSIONES

En conclusión, la prueba militar impuso demandas físicas y mentales significativas, especialmente bajo condiciones climáticas adversas con altas temperaturas. Tuvo un considerable impacto neuromuscular en el organismo, manifestado inicialmente en una potenciación de la fuerza isométrica global y la potencia de la parte inferior del cuerpo inmediatamente después de la prueba, seguida de una disminución en la mayoría de las variables analizadas y una recuperación neuromuscular insuficiente a las 48 h posprueba. Por lo tanto, es fundamental implementar un programa de entrenamiento físico periodizado, adaptado a las necesidades específicas del personal militar involucrado en actividades físicas de alta demanda, como las evidenciadas en este estudio. Dicho programa debe planificarse con antelación, con una gestión adecuada de la carga de entrenamiento y descansos suficientes, para asegurar que los miembros del servicio se encuentren en óptimas condiciones y plenamente preparados para rendir al máximo cuando sea necesario. La potenciación observada tras una prueba físicamente exigente de esta índole podría atribuirse al aumento en la activación del sistema neuroendocrino debido al estrés asociado a escenarios similares a los del combate, como la defensa de una posición o el desplazamiento hacia un punto de extracción en un terreno hostil. Las pruebas realizadas en este estudio fueron diseñadas para evaluar el rendimiento en aspectos críticos de las funciones militares, incluyendo la resistencia, la fuerza muscular y la potencia. Los datos recopilados ofrecen valiosos conocimientos sobre cómo este tipo de pruebas afectan al personal militar en los días posteriores, particularmente en tareas clave como saltar, superar obstáculos, desplazarse con agilidad y coordinación, transportar y arrastrar cargas pesadas, y correr largas distancias. A pesar de las mejoras observadas en la fuerza y potencia muscular, se debe actuar con cautela al realizar actividades submáximas o máximas tras estas pruebas, debido a la significativa fatiga neuromuscular y la posible disminución del control motor (233), lo que podría incrementar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas.

7.6. APÉNDICES

Apéndice A1

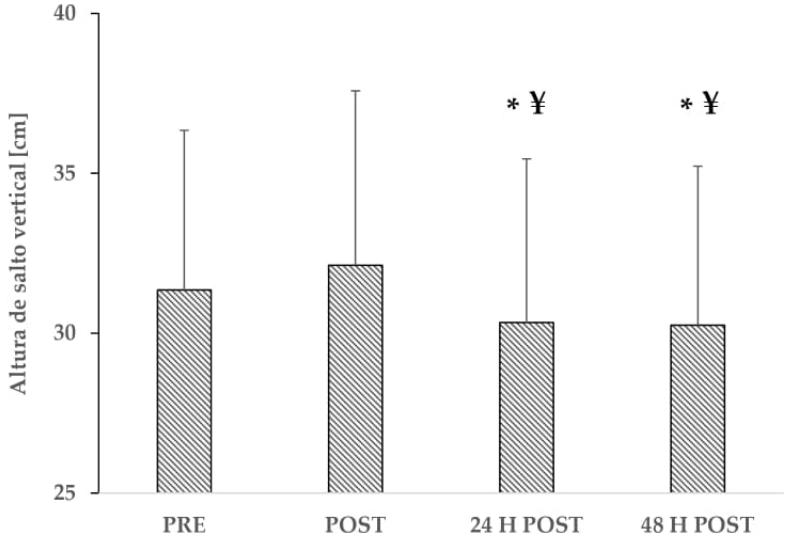
Figura 15. Evolución de los resultados de la prueba de tirón isométrico a mitad del muslo.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores (a) pre: † = diferencia significativa ($p \leq 0.01$), ‡ = diferencia altamente significativa ($p \leq 0.001$); y (b) post: Ψ = diferencia altamente significativa ($p \leq 0.001$).

Apéndice A2

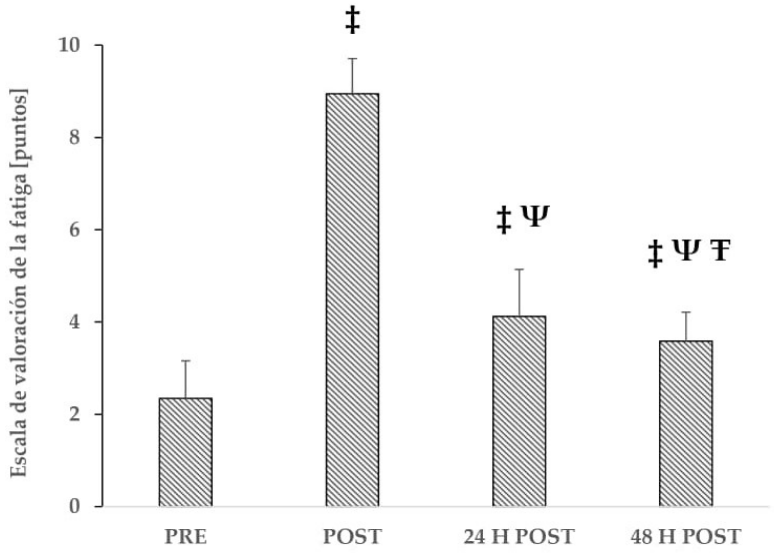
Figura 16. Evolución de los resultados de la prueba de altura de salto con contramovimiento.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores: (a) pre: * = diferencia significativa ($p \leq 0.05$) y (b) post: ¥ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$).

Apéndice A3

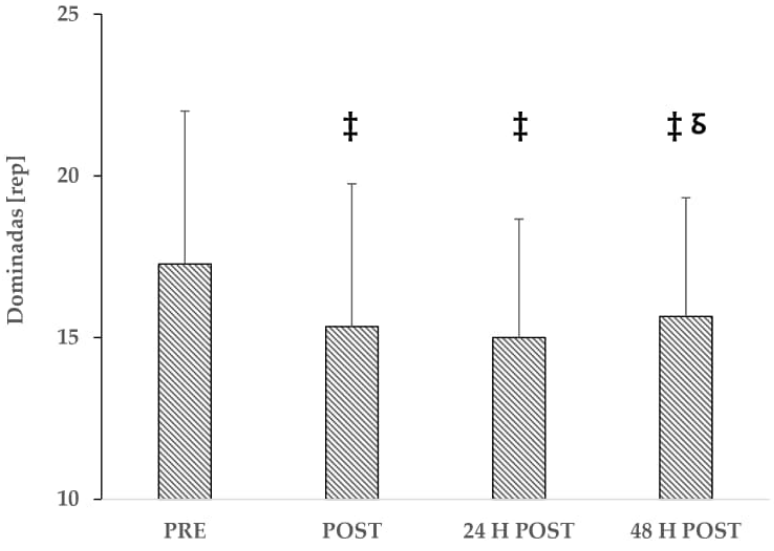
Figura 17. Evolución de los resultados de la escala de valoración de la fatiga.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores: (a) pre: ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$), (b) post: Ψ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$) y (c) post 24 h: Ŧ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$).

Apéndice A4

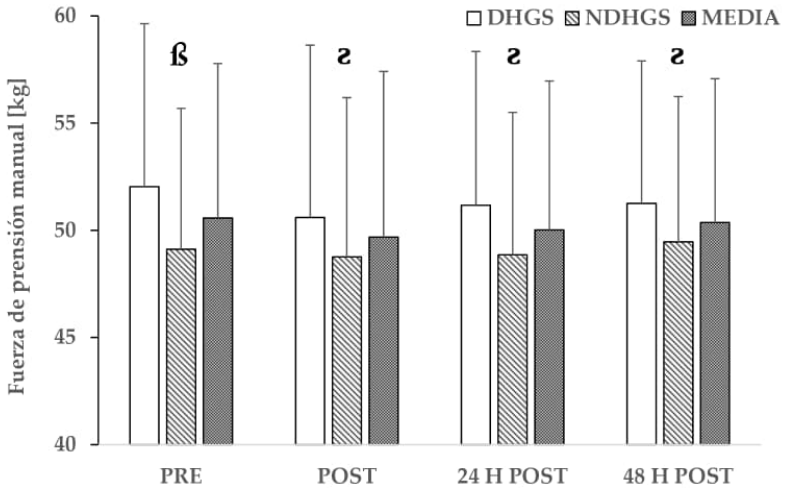
Figura 18. Evolución de los resultados de la prueba de dominadas.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores: (a) pre: ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$) y (b) post 24 h: δ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Apéndice A5

Figura 19. Evolución de los resultados de la prueba de fuerza de prensión manual.



Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas entre DHGS (fuerza de prensión de la mano dominante) y NDHGS (fuerza de prensión de la mano no dominante): ƨ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$) y ß = diferencia significativa ($p \leq 0.001$).

VIII – ESTUDIO 3

VIII - ESTUDIO 3

MONITORIZACIÓN DEL RENDIMIENTO NEUROMUSCULAR Y PSICOLÓGICO DURANTE UNA TEMPORADA EN EL CUERPO DE INFANTERÍA DE MARINA ESPAÑOLA

8.1. INTRODUCCIÓN

La formación militar impartida en escuelas y academias del ejército desarrolla tanto competencias físicas como ético-morales, lo que permite a los miembros del servicio afrontar mejor las dificultades y desafíos de los entornos militares y del combate. Esta etapa inicial de instrucción es esencial y constituye la base, pues prepara al personal militar para la toma de decisiones en condiciones de alta responsabilidad e intenso estrés, circunstancias propias de las funciones que se espera desempeñen con determinación. Tales situaciones suelen presentarse en entornos impredecibles y de rápida transformación, bajo elevadas exigencias físicas y psicológicas, y en un marco multifactorial de estresores internos y externos que afectan el rendimiento en tareas militares específicas (20), donde no hay margen de error para garantizar la supervivencia y el éxito de la misión. Por ello, no solo es fundamental fortalecer el espíritu de resiliencia, entendida como la capacidad de resistir, recuperarse, crecer y adaptarse ante circunstancias estresantes (253), ya que se ha demostrado que potencia el rendimiento en las tareas, mejora las respuestas ante situaciones hostiles y facilita el afrontamiento de numerosos estresores (19). Resulta igualmente importante satisfacer las demandas fisiológicas inherentes al servicio militar, que han sido objeto de investigación (16), y que requieren una amplia gama de componentes de la condición física. Entre estos, las capacidades de fuerza y potencia anaeróbica son particularmente críticas, junto con la resistencia cardiorrespiratoria y muscular. Para responder de manera eficaz a estas exigencias, es imprescindible contar con una base sólida de preparación tanto física como psicológica, lo que resulta determinante para un desempeño óptimo en misiones operativas.

Desde el momento en que los miembros del servicio ingresan a los centros de formación académico-militar, experimentan niveles elevados de estrés debido a las exigencias inherentes a la instrucción (254), así como durante su posterior servicio en las unidades asignadas, en especial en las unidades militares operativas. Esto implica con frecuencia operar en los límites de la tolerancia física y psicológica, con el fin de estar preparados y ser capaces de responder de manera eficaz ante cualquier situación adversa en el futuro. Para este propósito, se llevan a cabo con frecuencia ejercicios tácticos y prácticas militares, conocidos como maniobras. Estas

funcionan como preparación específica para la guerra, al simular acciones y condiciones de combate reales que suelen ser arduas y prolongadas (233). Las maniobras incluyen marchas de resistencia, ejercicios tácticos de combate en entornos urbanos y topográficos, transporte de equipo pesado, recorridos de larga distancia y exposición a condiciones de combate simuladas con eventos adversos e inesperados. Dichos escenarios suponen un reto significativo para el equilibrio entre el estrés y la recuperación, necesario tanto para alcanzar un desempeño operativo óptimo como para reducir el riesgo de lesiones.

En este sentido, el estrés en el entorno militar o durante los ejercicios de combate simulados constituye la respuesta del organismo ante estímulos percibidos como amenazantes y desafiantes que superan los recursos disponibles. Se ha demostrado (209) que el estrés puede generar efectos negativos, como el aumento del tiempo de reacción, la disminución de la atención sostenida y la desregulación de funciones neurofisiológicas, neuromusculares, neuroendocrinas, cognitivo-conductuales y emocionales (255,256). Esto puede derivar en errores o accidentes fatales, dado que entre el 80 y el 85 % de los accidentes en contextos militares se atribuyen a errores humanos ocasionados por la fatiga y la reducción del rendimiento cognitivo (257). Esta respuesta desencadena una cascada de procesos fisiológicos destinados a estimular y preparar al organismo frente al peligro, incluyendo numerosos cambios en los sistemas hormonal, neural, fisiológico, psicológico y cardiovascular (258), todos regulados por el sistema nervioso autónomo. A su vez, esta respuesta es mediada por el sistema nervioso simpático, que induce múltiples cambios en diferentes niveles del organismo, excitándolo y preparándolo para enfrentar los desafíos; y por el sistema nervioso parasimpático, que atenúa dicha excitación y promueve la homeostasis una vez que se determina que no existe amenaza (91,259). A pesar de sus aspectos desfavorables, el eustrés, una forma de estrés positivo, también puede producir efectos beneficiosos al energizar y estimular al organismo durante tareas o ejercicios militares altamente demandantes, tanto física como psicológicamente. De este modo, posibilita un estado óptimo de activación que maximiza el rendimiento físico cuando los niveles de estrés se encuentran en equilibrio (19).

A pesar del marco multifactorial de estresores (260–262) que pueden afectar la capacidad operativa del personal militar y, en consecuencia, obstaculizar el logro exitoso de las misiones, se ha demostrado ampliamente que la condición física, combinada con una mentalidad resiliente (19), proporciona un grado de protección frente a dichos estresores. Esta combinación facilita una recuperación más rápida y eficaz, fortalece la función inmunológica y, en última instancia, refuerza la resiliencia del militar en situaciones exigentes (263,264). En la búsqueda de una condición física militar óptima, la literatura científica actual sugiere que alcanzar este objetivo requiere la implementación de un programa fundamentado en la

aplicación rigurosa de los principios de la ciencia del entrenamiento, construyendo una base sólida de resistencia cardiorrespiratoria y poniendo énfasis, al mismo tiempo, en el desarrollo de la fuerza (22). Se ha demostrado de manera consistente que el entrenamiento de fuerza aporta beneficios sustanciales para la salud, reduce el riesgo de lesiones en los combatientes y prepara músculos, huesos y tendones para soportar las exigencias físicas del entorno militar (116). Por lo tanto, la combinación de las capacidades físicas primarias, fuerza y resistencia, resulta esencial para alcanzar una preparación física militar óptima, orientada a potenciar la capacidad operativa durante la ejecución de las misiones (21). Además, si el objetivo es lograr adaptaciones fisiológicas crónicas positivas que incrementen la condición física del soldado, numerosos estudios (126,128,265) han concluido que la estrategia más eficaz es la aplicación de la periodización del entrenamiento. En ausencia de un equilibrio adecuado entre los estímulos generadores de estrés y la recuperación, logrado mediante una gestión apropiada de la carga de entrenamiento, la fatiga prolongada puede derivar en sobreentrenamiento (160), en un aumento del riesgo de lesiones (266) con un considerable impacto económico y pérdida de tiempo de servicio, y, en última instancia, en un deterioro del rendimiento operativo y de la preparación para el combate (255).

Dada la naturaleza exigente y compleja de esta labor, la implementación de estrategias, como las evaluaciones periódicas realizadas tanto en unidades operativas como en academias de formación militar, puede resultar altamente beneficiosa para el monitoreo de la condición física del personal militar. Este enfoque permitiría realizar ajustes en los planes de entrenamiento con el fin de garantizar una adecuada asimilación de la carga y facilitar una progresión óptima. Nuevos dispositivos de evaluación del rendimiento y protocolos de prueba han demostrado ya su eficacia y eficiencia para este propósito, ya que son de rápida aplicación, imponen una exigencia física mínima, requieren solo una breve familiarización y ofrecen resultados objetivos y precisos en una amplia gama de variables (167,267). De manera similar, entre los métodos más empleados para evaluar el estado psicológico y los niveles de estrés se encuentran los instrumentos de autoinforme, como el Perfil de estados de ánimo (POMS) (268) y el cuestionario de recuperación-estrés para deportistas (RESTQ-Sport) (269). Estas dos herramientas de autoadministración, ampliamente utilizadas en el ámbito deportivo, permiten una evaluación integral del estado físico y psicológico mediante el seguimiento de las fluctuaciones del estado de ánimo, los indicadores de estrés y recuperación, y el equilibrio general estrés–recuperación en relación con la carga de entrenamiento, factores clave en el riesgo de sobreentrenamiento. Su utilización posibilita la evaluación continua de la carga de entrenamiento, la cuantificación precisa de la fatiga y la obtención oportuna de información sobre la condición del personal militar, lo que respalda una gestión adecuada para mantener la efectividad operativa, favorecer adaptaciones de entrenamiento a

largo plazo y salvaguardar el bienestar general (160). No obstante, pese a sus ventajas, la adopción de nuevas tecnologías y herramientas de evaluación del rendimiento en el contexto militar avanza de manera gradual.

Al respecto, un estudio (270) realizado con una muestra de 336 aspirantes a los Navy SEAL de EE. UU. durante un curso de seis meses encontró puntuaciones significativamente más altas en las categorías negativas del POMS (Depresión, Tensión y Confusión) entre quienes no completaron exitosamente el curso, en comparación con aquellos que sí lo hicieron. En un estudio relacionado, un grupo de 89 soldados de infantería que completó una marcha de 20 km cargando 46 kg en el menor tiempo posible presentó un aumento en los estados de ánimo negativos, mientras que sus puntuaciones en Vigor–Actividad disminuyeron de manera significativa debido al estrés inducido por la tarea (216). Este patrón de respuesta emocional ha sido estrechamente asociado con condiciones de sobreentrenamiento (271). Por el contrario, se registraron puntuaciones más altas en las categorías Cólera, Vigor y Fatiga entre los candidatos que completaron satisfactoriamente el entrenamiento.

A la luz de estos hallazgos, el monitoreo del rendimiento neuromuscular y psicológico adaptado a los contextos militares mediante tecnologías emergentes y herramientas de evaluación del desempeño puede representar un enfoque altamente eficaz. Esta perspectiva podría facilitar la optimización de los programas de entrenamiento en academias, escuelas y unidades operativas militares, al permitir ajustes oportunos en variables clave del entrenamiento, como el volumen, la intensidad y otros parámetros, en función de los resultados obtenidos (167). Este enfoque preventivo y modernizado puede resultar tanto efectivo como beneficioso para garantizar la eficacia operativa a largo plazo y el bienestar general del personal de las Fuerzas Armadas, además de proporcionar datos objetivos sobre el progreso y desarrollo de los militares. Permite un seguimiento eficaz tanto del rendimiento físico como del psicológico y respalda la realización de ajustes precisos en los programas de entrenamiento. Asimismo, estas herramientas de evaluación podrían contribuir a reducir la incidencia del sobreentrenamiento, las lesiones por sobreuso y el estrés prolongado, mejorando de este modo la efectividad operativa, la sostenibilidad a largo plazo y la preparación para el combate mediante una formación más eficiente del personal militar.

Sin embargo, debido a su limitada implementación actual dentro de las Fuerzas Armadas, resulta necesario realizar más estudios que permitan cuantificar datos sobre la adecuada progresión y desarrollo de la condición física y mental a través del monitoreo del rendimiento y la fatiga en personal militar perteneciente a una unidad altamente operativa, como la Infantería de Marina, en el marco de una escuela de formación académico-militar. Esta investigación podría contribuir a identificar las fluctuaciones en el rendimiento neuromuscular y psicológico

dentro de un entorno de entrenamiento militar, así como al diseño de estrategias que faciliten una mejor gestión de la carga psicológica y un control más preciso de la progresión del entrenamiento. Asimismo, podría generar conciencia sobre la importancia de implementar estrategias que incluyan dispositivos tecnológicos avanzados para optimizar el monitoreo y la progresión de la preparación física del personal militar. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es monitorear el rendimiento neuromuscular y psicológico en función de la carga de entrenamiento realizada dentro de una escuela de formación militar. De manera complementaria, se busca evaluar la viabilidad de implementar estas pruebas de evaluación del rendimiento en el régimen de instrucción de una academia militar, así como analizar la progresión de los cadetes a lo largo de su programa de formación.

8.2. MATERIALES Y MÉTODOS

8.2.1. Diseño del estudio

Se llevó a cabo un estudio descriptivo de medidas repetidas para evaluar la fatiga neuromuscular y psicológica en 27 militares durante un período de 13 semanas de su formación académico-militar anual. Cada tres semanas se administraron pruebas físicas específicas para valorar el nivel acumulado de fatiga, la asimilación de la carga de entrenamiento y las mejoras en las pruebas de rendimiento. Todas las sesiones de entrenamiento realizadas por los participantes fueron registradas y cuantificadas, incluyendo tanto las realizadas dentro del régimen militar como las efectuadas de manera independiente. Además, se incluyeron en los registros ejercicios militares específicos realizados semanalmente en la escuela militar. Los participantes asistieron inicialmente a una sesión de familiarización, que comprendió una explicación teórica y la ejecución práctica de los procedimientos y pruebas de rendimiento. Durante una segunda visita, realizada tras al menos 24 horas sin ejercicio vigoroso y después de un calentamiento general y uno específico, se recopilaron datos como edad, estatura y masa corporal (BM). Posteriormente, se realizaron las pruebas de rendimiento físico para establecer un nivel inicial de referencia. Estas pruebas se administraron en el siguiente orden, con intervalos de descanso de 3 a 5 min entre cada una: salto con contramovimiento (CMJ), tirón isométrico a mitad del muslo (IMTP) y fuerza de prensión manual (HGS); así como pruebas físicas específicas, incluyendo dominadas máximas (PLUmax) en 2 min, flexiones de brazo máximas (PUmax) en 2 min y lanzamiento de balón medicinal (MBT). Complementariamente a estas evaluaciones de rendimiento, se aplicaron semanalmente (todos los domingos) los cuestionarios POMS y RESTQ-Sport para evaluar la fatiga psicológica en relación con la carga de entrenamiento militar. Los participantes registraron su estado de ánimo a lo largo de la semana, incluyendo el domingo, considerando el ejercicio,

las maniobras militares, las prácticas específicas realizadas y otros factores estresantes que pudieran afectar el equilibrio estrés–recuperación, elementos directamente asociados con el sobreentrenamiento.

8.2.2. Participantes

La muestra de participantes estuvo compuesta por 27 militares profesionales (edad: 27.9 ± 4.8 años; estatura: 178.1 ± 6.3 cm; peso: 79.10 ± 7.82 kg) pertenecientes a la Escuela de Infantería de Marina española. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (a) personal militar en servicio activo; (b) estar matriculado en el Curso de Acceso a la Escala de Suboficiales (CAES) del Cuerpo de Infantería de Marina; y (c) ausencia de cualquier enfermedad, lesión o deficiencia diagnosticada. Los criterios de exclusión incluyeron: (a) cualquier condición, lesión o deficiencia diagnosticada que pudiera comprometer el rendimiento físico durante el estudio; (b) estar bajo tratamiento farmacológico que pudiera afectar la capacidad física; (c) no completar todas las fases y procedimientos del estudio; y (d) retiro voluntario en cualquier momento. La muestra estuvo compuesta exclusivamente por participantes masculinos debido a la ausencia de candidatas femeninas en el CAES durante el período de recolección de datos. Antes del inicio del estudio, todos los participantes fueron debidamente informados sobre la intervención y firmaron un formulario de consentimiento informado, de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki (198). Los procedimientos del estudio fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia (código de aprobación ética: CE102202, 28 de octubre de 2022), así como por el personal responsable de la Escuela Militar de Infantería de Marina "General Albacete y Fuster".

8.2.3. Procedimientos

8.2.3.1. Pruebas de rendimiento físico

Calentamiento: Se implementó un protocolo de calentamiento estandarizado para todos los participantes antes de cada sesión de recogida de datos. El calentamiento se diseñó para abordar componentes clave, incluyendo ejercicios de movilidad articular, movimientos generales y ejercicios específicos relacionados con las pruebas físicas a realizar. El protocolo comprendió lo siguiente: (a) ejercicios de movilidad articular: 1 serie de 10 repeticiones para cada uno de los siguientes movimientos: rotaciones de hombros, rotaciones de tronco, círculos de cadera y flexión de rodilla hacia adelante en posición de pie; (b) estiramientos dinámicos: 1 serie de 10 repeticiones para cada uno de los siguientes ejercicios: flexión y extensión de cadera de pie con contacto con el suelo, y estiramiento de isquiotibiales de pie elevando la pierna hasta posición horizontal y tocando los dedos del pie con las manos; (c) ejercicios de activación metabólica: 1 serie de 8 a

20 repeticiones de los siguientes ejercicios: saltos de tijera, saltos en tijera, zancadas y burpees; y (d) ejercicio de fuerza específico (peso muerto con barra): serie 1: 4 repeticiones con 20 kg; serie 2: 6 repeticiones con 40 kg; serie 3: 4 repeticiones con 60 kg, con intervalos de descanso de 1 a 2 min entre series.

Salto con contramovimiento (CMJ): Los participantes realizaron el CMJ sobre una plataforma de fuerza portátil Kistler (Kistler 9286BA, Kistler Group, Winterthur, Suiza) equipada con cuatro sensores piezoeléctricos ubicados en cada esquina. Esta plataforma permite el análisis estabilométrico al capturar las oscilaciones del centro de presión. Cuenta con un rango de medición de 400–600 mm y una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, lo que permite un registro preciso del desplazamiento del pie y del tiempo de contacto sobre la superficie de la plataforma. El CMJ es una de las pruebas de rendimiento neuromuscular más utilizadas a nivel mundial debido a su alta validez y fiabilidad. Está ampliamente citado en la literatura científica para la evaluación de la fuerza y potencia de las extremidades inferiores (200). Antes de la recogida de datos, el dispositivo se calibró de acuerdo con las instrucciones del fabricante para garantizar precisión y validez. Los datos fueron registrados y analizados mediante el software MARS de Kistler (2012, S2P Ltd., Liubliana, Eslovenia), que proporciona parámetros de rendimiento detallados y fiables derivados del salto. El software MARS ha demostrado eficacia tanto para el monitoreo individual como para la detección de cambios en el rendimiento a lo largo del tiempo (201). Se permitió a los participantes seleccionar libremente la profundidad del CMJ y se les indicó previamente que aterrizaran lo más cerca posible del punto de despegue. Cada participante realizó dos intentos de salto, utilizando para el análisis el mejor resultado, definido como la mayor altura vertical alcanzada en el despegue. Se proporcionó un intervalo de descanso de un min entre los intentos. Los datos brutos fueron exportados y se calcularon los siguientes parámetros mediante Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EE. UU.): altura máxima del salto vertical desde el despegue (VJ CMJ), medida en centímetros [cm]; potencia máxima (PP CMJ), medida en vatios [W]; fuerza máxima durante las fases excéntrica (PEcc) y concéntrica (PCon), medida en newtons [N]; y tasa de desarrollo de fuerza (RFD) en las fases excéntrica (RFDEcc) y concéntrica (RFDCon), medida en newtons por segundo [N/s].

Fuerza máxima isométrica de miembros inferiores: Los participantes realizaron un tirón isométrico a mitad del muslo (IMTP) sobre una plataforma de fuerza situada bajo una máquina Smith. La barra se fijó en su lugar y se ajustó de modo que su altura correspondiera al punto medio entre el trocánter mayor y el epicóndilo lateral de ambas rodillas. Esta prueba de rendimiento es cada vez más reconocida en la literatura científica debido a su sólida validación y alta fiabilidad para evaluar la fuerza máxima global de un individuo (199). Antes de la recogida

de datos, el dispositivo se calibró siguiendo las pautas del fabricante para garantizar precisión y validez. Los participantes realizaron un intento de prueba al aproximadamente 70 % de su fuerza máxima percibida, con una duración de entre 3 y 5 s. Tras un periodo de descanso de 1 a 2 min, los participantes realizaron dos esfuerzos máximos, con un intervalo de descanso de 20 s entre ensayos. Se proporcionaron estímulos verbales para asegurar un esfuerzo máximo. Se seleccionó el mejor ensayo para su análisis. Posteriormente, se calculó el Índice de Fuerza Dinámica (DSI), un parámetro utilizado para evaluar la capacidad de un individuo de generar fuerza explosiva en relación con su fuerza máxima. Se determina como la relación entre la fuerza máxima del CMJ y la fuerza máxima del IMTP. Este valor se obtuvo a partir de las fuerzas promedio de ambas pruebas mediante la siguiente fórmula: DSI (%) = (Peak Force CMJ/Peak Force IMTP) (272).

Fuerza de prensión manual (HGS): La HGS se midió utilizando un dinamómetro digital de agarre (modelo Camry EH101, Zhongshan Camry Electronic Co., Ltd., Zhongshan, China) para determinar la fuerza máxima isométrica de la mano, la cual ha demostrado correlacionar fuertemente con el estado de salud, parámetros clínicos y la fuerza general del individuo (239). Además, la HGS se utiliza para evaluar el rendimiento en tareas militares específicas, como levantar objetos pesados, transportar material manualmente y superar obstáculos, entre otras (205). En cuanto a la ejecución de la prueba, el hombro del miembro evaluado se mantuvo próximo al torso, con el codo flexionado a 90º y la mano en posición neutral. Se realizaron dos repeticiones de esfuerzo máximo de 3 s cada una para la mano dominante (DHGS) y la mano no dominante (NDHGS), con un periodo de descanso de 60 s entre repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó el valor más alto registrado de cada mano.

Dominadas máximas en 2 min (PLUmax): La prueba PLUmax se ha utilizado en el ámbito militar como un método eficaz y válido para evaluar tanto la fuerza como la resistencia muscular del tren superior durante los movimientos de tracción (14,16). La prueba consistió en elevar el cuerpo levantando el propio peso corporal, asegurando que la barbilla superara la barra horizontal en cada repetición, realizando el máximo número de repeticiones en un periodo de 2 min. En cada repetición, la barra se sujetó con agarre prono y una separación de las manos a la anchura de los hombros o ligeramente mayor. La posición inicial consistió en colgarse de la barra con los codos completamente extendidos, suspendido en el aire sin que los pies tocaran el suelo. Tras la dominada, la posición final se logró con los codos flexionados y la barbilla por encima de la barra. Se informó a los participantes que las repeticiones ejecutadas con técnica incorrecta no serían contabilizadas; por lo tanto, cada repetición debía implicar elevar el cuerpo hasta que la barbilla superara la barra, asegurando específicamente que el cartílago tiroides (nuez de Adán) superara el borde superior de la barra (203,204). La prueba finalizó al llegar

a la fatiga voluntaria o al cumplirse los 2 min, durante los cuales se requería mantener la sujeción de la barra en todo momento, sin soltarse ni apoyarse en ninguna superficie. Se permitió una breve pausa de menos de 10 s durante la prueba.

Flexiones máximas en 2 min (PUmax): La prueba PUmax se ha utilizado ampliamente durante décadas en contextos militares y se considera uno de los ejercicios más efectivos para mejorar la condición física y evaluar la fuerza y resistencia muscular del tren superior durante movimientos de empuje (16,273,274). La prueba consistió en realizar el máximo número de extensiones y flexiones de codo en posición prona. La posición inicial implicaba adoptar la postura de plancha, apoyando únicamente las palmas de las manos y los pies en el suelo, manteniendo los codos y las rodillas completamente extendidos. Las manos se colocaron a la anchura de los hombros y el cuerpo se mantuvo completamente alineado, sin permitir balanceos ni movimientos compensatorios. La ejecución comenzó con la flexión de codos para bajar el pecho hacia el suelo, seguida de la extensión empujando contra el suelo para volver a la posición inicial. La prueba finalizó cuando el participante alcanzó la fatiga voluntaria o al cumplirse el tiempo límite de 2 min. Se informó a los participantes que las repeticiones realizadas con técnica incorrecta no serían contabilizadas. Se permitió una breve pausa de menos de 10 s durante la prueba.

Lanzamiento de balón medicinal (MBT): La prueba MBT se ha mostrado fuertemente correlacionada con la masa musculoesquelética absoluta y, por consiguiente, con la fuerza y potencia muscular (16,80). Esta prueba podría servir como una alternativa viable para evaluar la condición física en contextos militares, ya que proporciona resultados más precisos que los métodos tradicionales de evaluación física (como flexiones y abdominales), utilizados durante años (275). Además, ha sido incorporada en la Prueba de aptitud física de combate (ACFT) del Ejército de los Estados Unidos. Para la ejecución de la prueba, los participantes se situaron de frente, detrás de la línea de referencia, sosteniendo un balón medicinal de 4.5 kg a la altura de la cadera con ambas manos y codos flexionados a 90°. Se permitieron movimientos preparatorios, incluyendo la flexión de brazos, caderas y rodillas, para aprovechar mejor la cadena cinética y mejorar el rendimiento. Una vez listos, los participantes realizaron un potente lanzamiento del balón hacia adelante. Durante la fase preparatoria previa al lanzamiento, los pies debían permanecer en contacto con el suelo sin moverse. Sin embargo, tras el lanzamiento, se permitía levantar uno o ambos pies o incluso saltar, siempre que no se cruzara la línea de referencia y se mantuviera el equilibrio. Cada participante realizó dos intentos, seleccionándose la mayor distancia alcanzada para el análisis estadístico.

*8.2.3.2. **Pruebas psicológicas de rendimiento***

Cuestionario Perfil de los estados de ánimo (POMS): Se empleó la versión en español del cuestionario POMS (276) para evaluar las fluctuaciones emocionales y los estados de ánimo en relación con la carga de entrenamiento (equilibrio estrés/recuperación). Aunque el cuestionario original consta de 65 ítems agrupados en siete categorías, se excluyó la categoría "Amistad" debido a su baja consistencia interna (277), dejando un total de 58 ítems distribuidos en seis categorías: cinco negativas (Tensión–Ansiedad, Depresión–Melancolía, Cólera–Hostilidad, Fatiga–Inercia y Confusión–Desorientación) y una positiva (Vigor–Actividad). La categoría Tensión–Ansiedad representa un aumento de la tensión en el sistema musculoesquelético; Depresión–Melancolía refleja sentimientos de tristeza y sensación de inadecuación personal; Cólera–Hostilidad indica un estado de enojo y antipatía hacia otros; Fatiga–Inercia representa desánimo y baja energía; Confusión–Desorientación refleja un estado de desorganización mental; y finalmente, la categoría Vigor–Actividad refleja un estado enérgico y activo (278). Las puntuaciones se obtuvieron mediante una escala tipo Likert de 5 puntos (0 = nada, 4 = extremadamente), en la que las puntuaciones altas en las categorías negativas se asocian con peores estados de ánimo, mientras que las puntuaciones altas en la categoría positiva se vinculan con un mejor estado de ánimo. Los datos obtenidos permitieron generar el perfil psicológico tipo Iceberg del grupo evaluado. La puntuación total de perturbación del estado de ánimo (TMD) se calculó sumando las puntuaciones de las cinco categorías negativas, restando la puntuación de Vigor–Actividad y sumando 300 para evitar valores negativos, según lo reportado en estudios previos (278). Por lo tanto, un menor valor de TMD indica un mejor estado psicológico y salud mental positiva, y viceversa.

Cuestionario de recuperación–estrés para deportistas (RESTQ-Sport): Se utilizó la versión en español del cuestionario RESTQ-Sport (279) para evaluar el equilibrio entre estrés y recuperación relacionado con la asimilación de la carga de entrenamiento. Este instrumento proporciona información sobre los factores estresantes tanto intrínsecos como extrínsecos, así como sobre los factores regenerativos que influyen en el individuo. El cuestionario consta de 76 ítems distribuidos en 19 escalas, agrupadas a su vez en cuatro dimensiones: siete escalas de estrés general, cinco escalas de recuperación general, tres escalas de estrés específicas del deporte y cuatro escalas de recuperación específicas del deporte. Las respuestas se registraron mediante una escala Likert de 7 puntos, que va de 0 ("nunca") a 6 ("siempre") (280). Los participantes completaron el cuestionario semanalmente (todos los domingos) durante todo el periodo de intervención. Para evaluar la consistencia interna de los datos obtenidos de ambos cuestionarios, RESTQ-Sport y POMS, se calculó el coeficiente Alfa de Cronbach (α) (281), considerando aceptables los valores superiores a 0.70. El Alfa de Cronbach se

calculó mediante la siguiente fórmula, donde K representa el número de ítems, Vi la varianza de cada ítem y Vt la varianza total: $\alpha = [K/(K - 1)] \times [1 - (\Sigma Vi/Vt)]$.

8.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Jamovi, versión 1.6 (The Jamovi Project, Sydney, Australia), y los resultados se expresaron como medias ± desviación estándar (SD) (206). La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk, considerando tanto el valor de p como la estadística W, confirmando que todas las variables cumplían los criterios establecidos. Las inferencias se calcularon en función de la magnitud de las fluctuaciones en las variables de rendimiento. La variabilidad intra-sujeto de todas las pruebas se evaluó mediante el cálculo del coeficiente de variación (CV) siguiendo el método descrito por Hopkins (282). Para evaluar los efectos a lo largo del tiempo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas, incluyendo comparaciones múltiples entre los distintos puntos temporales. Posteriormente, cada variable se comparó entre puntos temporales mediante pruebas t para muestras pareadas. La correlación entre las 19 escalas del cuestionario RESTQ-Sport y las 6 categorías del cuestionario POMS se analizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson. El nivel de significancia se estableció en $p \leq 0.05$. El tamaño del efecto (ES) se calculó mediante el coeficiente d de Cohen (207), comparando los valores de la evaluación basal (E01) con las evaluaciones posteriores (E02–E05). Esta medida permitió determinar la relevancia del efecto en cada variable, reflejando diferencias significativas entre los distintos puntos de evaluación. El tamaño del efecto se interpretó según la clasificación de Cohen como sigue: trivial (<0.2), pequeño (≥0.2–<0.6), moderado (≥0.6–<1.2), grande (≥1.2–<2.0), muy grande (≥2.0–<4.0) y extremadamente grande (≥4.0) (208). En resumen, se siguieron las directrices para el uso de estadísticas en medicina del deporte y ciencias del ejercicio (208).

8.3. RESULTADOS

Los resultados de las variables fisiológicas y de rendimiento, expresados como media ± SD, junto con el ES y la diferencia porcentual (Δ%) entre evaluaciones, se presentan en la Tabla 5 y la Figura 20, Apéndice A.3 y A.1. La BM mostró cambios significativos a lo largo del tiempo ($p < 0.001$). Estos datos evidencian un aumento gradual, alcanzando un pico en la evaluación E03, seguido de un descenso en E05 hasta valores por debajo de los registrados inicialmente en E01. Por el contrario, las variables del CMJ mostraron cambios temporales significativos en la VJ ($p = 0.002$), PCon ($p = 0.012$) y RFDEcc ($p = 0.018$); sin embargo, no se observaron cambios significativos en PP ($p = 0.405$), RFDCon (p =

0.834) ni PEcc (p = 0.289). Cabe destacar que se observó una disminución significativa en todas las mediciones de VJ en comparación con los valores de referencia iniciales. Asimismo, la PP mostró fluctuaciones a lo largo del tiempo, alternando entre descensos y valores cercanos a las mediciones iniciales.

El IMTP mostró cambios significativos a lo largo del tiempo (p = 0.001), observándose valores disminuidos en todas las evaluaciones en comparación con la línea base. El CV (%) para las variables de rendimiento neuromuscular a lo largo de las cinco evaluaciones realizadas en distintos puntos temporales fue del 9.6, con la mayoría de los valores dentro del rango considerado bueno, lo que indica que los datos son consistentes. En cuanto a la HGS, no se detectaron cambios significativos a lo largo de los distintos momentos de evaluación (p = 0.873). La mano dominante (DHGS) no mostró variación temporal significativa (p = 0.947), aunque se observó un descenso progresivo. De manera similar, la mano no dominante (NDHGS) no presentó cambios significativos (p = 0.665) y permaneció consistentemente por debajo de los valores iniciales en todas las mediciones. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas (p < 0.001) entre la mano dominante y la no dominante en todas las evaluaciones, con una diferencia promedio del 6.57 % entre DHGS (52.57 ± 6.89) y NDHGS (49.33 ± 6.60). Más específicamente, las diferencias entre manos fueron: 5.11 % (p = 0.006) en E01, 7.84 % (p < 0.001) en E02, 8.30 % (p = 0.008) en E03, 6.20 % (p < 0.001) en E04 y 5.43 % (p = 0.008) en E05.

Se observaron cambios significativos (p = 0.015) en la PLUmax a lo largo de las diferentes evaluaciones realizadas, mostrando una clara tendencia ascendente en comparación con los valores de referencia. De manera similar, la prueba PUmax presentó cambios significativos (p = 0.001) a lo largo del tiempo, con un aumento definido y progresivo. En contraste, la prueba MBT no mostró cambios significativos (p = 0.334) entre evaluaciones, manteniéndose los valores cercanos a los niveles iniciales. La Tabla 6, Apéndice A.4, presenta los resultados expresados como medias y SD para cada categoría del cuestionario POMS, junto con la media global, el ES y el coeficiente de consistencia interna Alfa de Cronbach a lo largo de las doce evaluaciones semanales. El perfil Iceberg del cuestionario POMS se muestra en la Figura 21, Apéndice A.2. Desde una perspectiva global, las categorías Vigor–Actividad (p = 0.391) y Tensión–Ansiedad (p = 0.846) registraron las medias más altas, seguidas de Depresión–Melancolía (p = 0.315) y Fatiga–Inercia (p < 0.001), mientras que Cólera–Hostilidad (p = 0.523) y Confusión–Desorientación (p = 0.019) mostraron los valores más bajos. El coeficiente Alfa de Cronbach osciló entre 0.84 y 0.95 a lo largo de las doce evaluaciones, con una media global de 0.92, lo que indica una excelente consistencia interna del cuestionario POMS. Las medias observadas por categoría a lo largo del tiempo mostraron cambios porcentuales de 61.4 % en Depresión–Melancolía, 60.6 % en Cólera–Hostilidad, 57.2 % en Fatiga–

Inercia, 46.8 % en Confusión–Desorientación, 23.0 % en Tensión–Ansiedad y 10.6 % en Vigor–Actividad.

En cuanto al cuestionario RESTQ-Sport, los resultados se presentan como medias y SD para las 19 escalas agrupadas en cuatro dimensiones, junto con la media global, el ES y el coeficiente de consistencia interna Alfa de Cronbach, en la Tabla 7, Apéndice A.5. Las escalas y dimensiones del cuestionario RESTQ-Sport a lo largo de las doce semanas se muestran en la Figura 22, Apéndice A.2. En términos generales, la recuperación total (TR) presentó valores un 68.9 % superiores a los del estrés total (TS). El tamaño del efecto para TR fue extremadamente grande (5.13), mientras que para TS fue grande (1.73). Las dimensiones de recuperación específica del deporte (SSR) y recuperación no específica del deporte (NSSR) registraron las medias más altas a lo largo de las doce evaluaciones, con 17.87 ± 4.74 y 17.28 ± 4.89, respectivamente. En contraste, las dimensiones de estrés no específico del deporte (NSSS) y estrés específico del deporte (SSS) mostraron los valores más bajos, con 4.94 ± 5.27 y 6.69 ± 6.04, respectivamente. Las tres escalas con las medias más altas fueron bienestar general (19.98 ± 3.58), autorregulación (18.66 ± 3.99) y autoeficacia (18.49 ± 3.48). Por el contrario, las escalas con los valores más bajos fueron estrés emocional (2.54 ± 2.94), estrés general (2.63 ± 3.15) y estrés social (2.67 ± 3.09). El coeficiente Alfa de Cronbach, reflejando la consistencia interna, osciló entre 0.79 y 0.93 a lo largo de los diferentes puntos de evaluación, con una media de 0.84, lo que indica buena fiabilidad y validez interna del cuestionario. El ES entre las distintas escalas varió entre 0.83 y 5.58. Finalmente, se observaron cambios significativos a lo largo del tiempo ($p < 0.05$) en las categorías 7 (Alteraciones físicas), 9 (Recuperación social) y 13 (Periodos de descanso alterados).

A lo largo de las doce evaluaciones, la variabilidad en la puntuación media de la dimensión de estrés no específico del deporte (NSSS), medida como la diferencia porcentual entre los valores más bajos y altos registrados en distintos puntos temporales, fue del 21.9 %. La variabilidad dentro de sus escalas específicas fue de 50.6 % para estrés general, 47.6 % para estrés emocional, 45.1 % para estrés social, 20.9 % para conflictos/presión, 24.9 % para fatiga, 25.5 % para falta de energía, y 44.1 % para alteraciones físicas. La dimensión de recuperación no específica del deporte (NSSR) mostró una variabilidad del 9.1 % a lo largo de los diferentes puntos temporales, con un 8.2 % de variabilidad en la escala de éxito, 13.6 % en recuperación social, 11.5 % en recuperación física, 6.6 % en bienestar general y 11.4 % en calidad del sueño. En la dimensión de estrés específico del deporte (SSS), las puntuaciones variaron un 23,1 % durante las doce evaluaciones, con una variabilidad de 37.7 % en la escala de periodos de descanso, 35.1 % en fatiga emocional y 24.3 % en lesiones. Finalmente, en la dimensión de recuperación específica del deporte (SSR) se observó una variabilidad del 8.7 % a lo largo de los

diferentes puntos temporales, con 10.7 % de variabilidad en la escala de estar en forma, 10.9 % en realización personal, 7.4 % en autoeficacia y 12.3 % en autorregulación.

Las correlaciones estadísticas entre las 19 escalas del cuestionario RESTQ-Sport y las 6 categorías del cuestionario POMS se presentan en la Tabla 8, Apéndice A.6. Los hallazgos más relevantes indican que las categorías negativas, Depresión–Melancolía, Tensión–Ansiedad, Cólera–Hostilidad, Fatiga–Inercia y Confusión–Desorientación, se correlacionaron de manera significativa y positiva con las dimensiones NSSS y SSS, mientras que se asociaron de manera inversa con las dimensiones NSSR y SSR. La categoría positiva, Vigor–Actividad, mostró correlaciones negativas significativas con NSSS y SSS, y correlaciones positivas significativas con NSSR y SSR. Tanto la categoría positiva del POMS como las escalas positivas del RESTQ-Sport presentaron valores significativamente más altos que las categorías y escalas negativas de los respectivos cuestionarios. Cabe destacar que la escala 15 (Lesiones) se correlacionó de manera significativa únicamente con las categorías Tensión–Ansiedad ($p \leq 0.01$) y Fatiga–Inercia ($p \leq 0.001$). De manera similar, la categoría Confusión–Desorientación no mostró correlaciones significativas con las escalas 4 (Conflictos/Presión), 5 (Fatiga), 12 (Calidad del Sueño) ni 15 (Lesiones). Por último, la escala 9 (Recuperación Social) no presentó correlación significativa con la categoría Fatiga–Inercia. En resumen, se observaron correlaciones significativas ($p \leq 0.001$) de manera general entre la mayoría de las escalas y categorías de ambos cuestionarios.

Finalmente, la carga de entrenamiento de los participantes se monitoreó mediante el registro y la cuantificación de las sesiones de entrenamiento y prácticas militares realizadas durante las 13 semanas de intervención. Se observaron patrones de entrenamiento similares entre todos los participantes. Las sesiones de entrenamiento realizadas durante el periodo académico en la Escuela Militar fueron consistentes en todo el grupo, con una carga de entrenamiento progresiva diseñada por los instructores de la escuela militar. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 2 h y se realizó todos los días laborables, excepto cuando fue reemplazada por prácticas militares, siendo frecuente la realización de sesiones dobles de entrenamiento en muchos días de la semana. De manera complementaria, las sesiones de entrenamiento autónomas, realizadas por las tardes y en días de descanso, mostraron una periodización y modalidades de entrenamiento similares entre los participantes. Asimismo, se observó una baja frecuencia de días de descanso semanal. Aunque el tipo de entrenamiento variaba de una semana a otra, se registró de manera constante una alta carga de trabajo. Esta incluía numerosas sesiones de entrenamiento aeróbico de larga duración mediante carrera continua progresiva (más de 50 min, cubriendo distancias entre 9 y 12 km); sesiones de fartlek (30–40 min); HIIT; entrenamiento funcional, como

CrossFit; y sesiones Tabata (30–60 min). Adicionalmente, se documentaron las prácticas militares semanales, incluyendo instrucción de formaciones cerradas, marchas de resistencia y ejercicios topográficos con equipo (cubriendo distancias de 15 a 50 km), cursos de aplicación militar, carreras de 5 km con equipo, maniobras de 2 a 3 días, natación en el mar (zona de muelle) y pruebas en embarcación. Además, se registraron numerosas sesiones de entrenamiento de fuerza (entre 3 y 5 por semana, con una duración de 40 a 60 min), así como sesiones adicionales de natación y ciclismo.

8.4. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue monitorear el rendimiento neuromuscular y psicológico de los militares en formación de Infantería de Marina durante parte de su período de entrenamiento académico-militar bajo un régimen interno, evaluando simultáneamente la progresión de la condición física y la viabilidad de implementar dichas herramientas de evaluación en contextos militares. El hallazgo principal fue la presencia de un estado sostenido de estrés y tensión psicológica, acompañado de una falta de mejora en las pruebas de rendimiento neuromuscular. Sin embargo, se observaron mejoras significativas en pruebas específicas de campo militar, concretamente en PLUmax y PUmax, mientras que no se registraron mejoras en MBT.

Los resultados obtenidos para las principales variables de rendimiento neuromuscular evaluadas mediante pruebas de laboratorio (VJ, HGS e IMTP) indicaron ausencia de mejoras significativas entre E01 y E05, e incluso mostraron un descenso después de 13 semanas de entrenamiento en la escuela militar, con mejoras mínimas en las pruebas de campo. Este hallazgo plantea interrogantes sobre la idoneidad y efectividad del plan de entrenamiento seguido y pone de relieve la necesidad de examinar posibles factores intrínsecos y extrínsecos que influyan en la falta de progreso. Dichos factores podrían incluir el diseño y la periodización del plan de entrenamiento, descanso insuficiente, fatiga acumulada debido a la sobrecarga global de tareas y sesiones de entrenamiento militar, y la ausencia de entrenamiento individualizado. No obstante, debe reconocerse que algunos individuos pueden presentar altos niveles de condición física al ingresar a los programas de entrenamiento militar, lo que puede limitar su capacidad para lograr adaptaciones fisiológicas adicionales y mejoras medibles en el rendimiento. Este efecto techo fisiológico podría explicar la magnitud reducida de los cambios observados en ciertos participantes.

En este sentido, la condición física militar se ha centrado tradicionalmente en el entrenamiento aeróbico continuo, caracterizado por un alto volumen y baja intensidad durante períodos prolongados (20). Se sabe que las exigencias físicas y psicológicas a las que se enfrentan los militares son extensas, variables y

desafiantes, exponiéndolos con frecuencia a condiciones extremas y estresantes. Sin embargo, los avances en la investigación científica (27) han concluido que las filosofías obsoletas, que promueven programas de entrenamiento de alta densidad, con cargas pesadas y descansos mínimos, dificultan el progreso hacia una preparación física militar óptima. Esto se ejemplifica en la alta carga de entrenamiento observada durante el período de intervención, especialmente en entrenamientos prolongados de resistencia, marchas de endurecimiento frecuentes, ejercicios topográficos, carreras con equipo de combate y numerosas sesiones adicionales de entrenamiento de fuerza autónomas. Estos hallazgos sugieren que un mayor volumen de entrenamiento no conduce necesariamente a mejores resultados, de modo que se puede resumir en la idea: "más no siempre es mejor".

En base a lo anterior, aunque se observaron mejoras en las pruebas de campo, con ganancias significativas en PLUmax y PUmax y sin cambios en la prueba MBT, es altamente probable que los participantes hayan experimentado un sobreentrenamiento fisiológico o sobrecarga debido a la alta densidad de entrenamiento. Esta condición podría haber provocado un desequilibrio entre el estrés inducido por las cargas físicas y psicológicas y los procesos de recuperación, conduciendo a un estrés metabólico elevado y, como consecuencia, a una disminución del rendimiento. Este fenómeno ha sido estudiado previamente, concluyéndose que un énfasis excesivo en el entrenamiento aeróbico de resistencia a largo plazo resulta en niveles de fuerza reducidos, dificulta la adecuada adquisición de adaptaciones neuromusculares y aumenta el riesgo de lesiones (26). Además, las tendencias actuales, que promueven programas de entrenamiento agresivos caracterizados por alto volumen e intensidad, realizando frecuentemente el máximo número de repeticiones con descansos mínimos, representan un enfoque insostenible a largo plazo. Estas prácticas no se ajustan a los principios de entrenamiento establecidos, aplicables también a la preparación física militar (28), y aumentan el riesgo de lesiones (27). Estos efectos negativos se ven agravados por la falta de descanso regular suficiente, esencial para consolidar las adaptaciones fisiológicas y alcanzar un rendimiento físico superior (150).

Dada la complejidad de la planificación del entrenamiento para el personal militar, debido a la amplia gama de componentes físicos que deben desarrollarse (16), y con el fin de asegurar una optimización efectiva de la preparación física militar, se recomienda implementar lo siguiente: (a) programas de entrenamiento periodizados (21), ya que proporcionan resultados más efectivos y sostenibles en el desarrollo de los múltiples componentes físicos necesarios para satisfacer las demandas de la profesión militar. Se debe poner un énfasis particular en el desarrollo de la fuerza y la potencia muscular para atender las demandas anaeróbicas actuales en el combate (22); (b) monitoreo integral de las cargas de

entrenamiento internas y externas mediante el uso de dispositivos personales, como monitores de frecuencia cardíaca o relojes deportivos inteligentes con GPS (168), así como tecnologías no invasivas de evaluación del rendimiento (169), incluyendo plataformas de fuerza, dinamómetros y otros, válidos para cuantificar la fatiga y evaluar el estado de rendimiento del personal militar; y (c) estricto cumplimiento de los principios del entrenamiento, especialmente la individualización, dado que cada individuo tiene necesidades específicas. El entrenamiento no debe ser estandarizado, sino adaptado según cada caso, haciendo una distinción clara entre poblaciones tácticas y atletas, evitando comparaciones directas entre ambos. Esto se debe a una diferencia fundamental en los objetivos del entrenamiento: mientras que el entrenamiento deportivo está diseñado típicamente para alcanzar el rendimiento máximo en un momento específico, el entrenamiento en entornos tácticos busca mantener la preparación operativa y un rendimiento consistente a lo largo del tiempo.

Asimismo, los resultados del cuestionario POMS indican que los estados de ánimo negativos, ordenados según las puntuaciones medias generales de mayor a menor, fueron: Tensión–Ansiedad, Depresión–Melancolía, Fatiga–Inercia, Confusión–Desorientación y Cólera–Hostilidad. Por otro lado, el estado de ánimo positivo, representado por la categoría Vigor–Actividad, mostró puntuaciones significativamente superiores al total combinado de todas las categorías negativas, superando la categoría negativa más alta en un 76.5 %. Esto sugiere que las exigencias impuestas a los militares en formación y sus niveles de estrés se mantuvieron constantes a lo largo de todas las evaluaciones. Es posible que esta condición haya sido deliberadamente promovida por los instructores militares para fomentar altos niveles de activación relacionados con el vigor, contribuyendo así al desarrollo de la resiliencia requerida para afrontar futuras misiones operativas. Estos valores no parecen tan elevados como los reportados en otro estudio (283), que incluyó a 194 atletas de distintas disciplinas. En ese estudio, la puntuación total de las categorías negativas del POMS fue de 48.83 puntos, un 63.8 % más alta que la categoría positiva Vigor, que obtuvo 17.69 puntos. Sin embargo, es importante destacar que los resultados del POMS varían según la población estudiada, el sexo, el tipo de deporte o actividad practicada y el nivel de experiencia previa. Por lo tanto, los resultados deben contextualizarse e interpretarse considerando las características de la muestra. Por ejemplo, las mujeres y los atletas de deportes individuales tienden a reportar mayores estados de ánimo negativos y menor vigor en comparación con los hombres y los atletas de deportes de equipo (276). Patrones similares se observan al comparar no atletas con atletas (284).

En este sentido, se ha demostrado que el personal militar con mayor fortaleza mental y resiliencia tiende a presentar puntuaciones más bajas en las categorías negativas del POMS, lo que les permite manejar mejor la presión y utilizar el estrés

a su favor en contextos operativos, particularmente cuando esto se acompaña de una condición física óptima (13). Otro estudio (285), que incluyó a 174 candidatos a Navy SEAL, examinó la influencia de diferentes tipos de mentalidad al enfrentarse a desafíos y situaciones imprevisibles. Los hallazgos indicaron que una mentalidad orientada a interpretar el estrés como una oportunidad de crecimiento, en lugar de percibirlo como una amenaza, estaba asociada con respuestas fisiológicas más favorables y una mayor perseverancia durante el entrenamiento en entornos altamente exigentes y estresantes. Las puntuaciones relativamente bajas en las categorías de estados de ánimo negativos observadas en el presente estudio podrían atribuirse a una tendencia del personal militar a evitar expresar el malestar o la fatiga percibida. Este comportamiento puede estar motivado por el deseo de proyectar una imagen de fortaleza física y mental, resiliencia, resistencia y vigor ante sus compañeros y superiores. Al minimizar conscientemente los indicadores de fatiga, los participantes pueden buscar una evaluación más favorable y resoluta de sus capacidades, disciplina, determinación y efectividad operativa, presentándose como candidatos más confiables y competentes para futuras responsabilidades dentro de la jerarquía militar. No obstante, esta estrategia de ocultar la fatiga percibida implica riesgos significativos, ya que puede conducir a sobreesfuerzo físico, acelerar la aparición de limitaciones funcionales y aumentar la probabilidad de lesiones musculoesqueléticas. En este sentido, se ha documentado que aproximadamente el 80 % de las lesiones en el ámbito militar están relacionadas con el sobreuso (286).

En cuanto a la elevación sostenida observada en la categoría Tensión–Ansiedad, esta puede atribuirse a la exposición continua a maniobras y sesiones de entrenamiento militar. El entorno militar, particularmente los ejercicios y maniobras que simulan escenarios de combate real, somete al sistema nervioso autónomo y al sistema cardiovascular a una tensión considerable, cuyos efectos pueden perdurare más allá del estímulo inicial. Esto puede afectar negativamente tanto el rendimiento como la salud (91,259). No obstante, estas prácticas de entrenamiento son esenciales para el personal de Infantería de Marina, quienes deben desarrollar una mentalidad combativa y versátil y mantener un alto nivel de condición física para superar con éxito cualquier situación o entorno hostil, especialmente en condiciones extremas. Paralelamente, deben cultivar la capacidad psicológica de pensar críticamente y tomar decisiones acertadas bajo fatiga, asegurando así la ejecución exitosa de su misión.

El segundo estado de ánimo negativo más elevado entre el personal de la Infantería de Marina fue Depresión–Melancolía, probablemente relacionado con el profundamente arraigado espíritu de sacrificio que se desarrolla desde el inicio del entrenamiento, fomentando una conducta ejemplar, austeridad, dedicación inquebrantable, altruismo y disposición a soportar dificultades en el cumplimiento

del deber. La categoría Fatiga–Inercia ocupó el tercer lugar, atribuible de manera plausible al entorno militar altamente exigente tanto física como psicológicamente, que incluye privación de sueño, maniobras prolongadas, déficit calórico, entrenamientos extenuantes y condiciones adversas, todo ello acompañado de la búsqueda de mejora continua y del incremento de la tolerancia al esfuerzo. En conjunto, estos factores reflejan los altos niveles de estrés entre los militares en formación, con la presencia de Confusión–Desorientación e Cólera–Hostilidad, aunque en menor grado.

El estado de ánimo positivo Vigor–Actividad mostró las puntuaciones más altas, lo que probablemente refleja la filosofía de resistencia, determinación y sacrificio de la Infantería de Marina, la cual fomenta la resiliencia, el control del estrés y un rendimiento óptimo ante la adversidad. En línea con estos hallazgos, un estudio reciente (287) observó que el personal militar que afronta sus deberes con entusiasmo, convicción y motivación intrínseca reporta menos trastornos del estado de ánimo y demuestra una mejor salud general y calidad de vida. Esta mentalidad, reforzada por una sólida condición física y motivación intrínseca, concuerda con los resultados que indican que el personal operativamente activo tiende a presentar menos estados de ánimo negativos, como Tensión–Ansiedad o Depresión–Melancolía, y mayores niveles de Cólera–Hostilidad y Vigor–Actividad, rasgos asociados con la preparación para el combate y la capacidad de soportar las exigencias físicas y mentales del servicio militar. Se considera que estas características psicológicas derivan de un mayor umbral para el sacrificio y de una capacidad reforzada para soportar las exigencias físicas y mentales del combate (180,216,270).

Con respecto a los resultados obtenidos del cuestionario RESTQ-Sport, la dimensión de recuperación específica del deporte (SSR) fue la principal contribuyente al proceso global de recuperación, con una puntuación media de 17.87 puntos. Las puntuaciones de la recuperación no específica del deporte (NSSR) fueron solo ligeramente inferiores, con un promedio de 17.28 puntos. En contraste, dentro de las dimensiones que contribuyen al estrés total, predominó el estrés específico del deporte (SSS), con una puntuación media de 6.69 puntos, frente a 4.94 puntos del estrés no específico del deporte (NSSS). Estos hallazgos sugieren que los factores directamente asociados con la carga de entrenamiento (es decir, SSR y SSS) juegan un papel más destacado en la configuración del balance global estrés–recuperación. Dentro de este contexto, se observó que las puntuaciones de estrés total fueron, en promedio, un 68.9 % menores que las de recuperación total, lo que indica que la escuela militar proporciona un entorno de entrenamiento exigente pero sostenible, capaz de mantener al personal militar en un estado de preparación operativa sin comprometer, en términos generales, sus capacidades fisiológicas y psicológicas de recuperación.

Asimismo, la correlación entre las categorías del POMS y las escalas del RESTQ-Sport, particularmente aquellos parámetros negativos asociados con el sobreentrenamiento, como el estrés y los estados de ánimo adversos, así como las escalas positivas vinculadas a la recuperación y a la correcta asimilación de la carga de entrenamiento, incluyendo el vigor, ha sido previamente examinada (279,283,288), mostrando resultados consistentes y comparables a los obtenidos en el presente estudio. Las escalas que más contribuyeron al estrés total fueron la escala 15 (Lesiones) y la escala 5 (Fatiga), que demostraron una fuerte correlación ($p < 0.001$) con un coeficiente de 0.893. Por el contrario, las escalas que más contribuyeron a la recuperación total fueron la escala 11 (bienestar general) y la escala 19 (autorregulación), mostrando igualmente una correlación significativa ($p < 0.001$) con un coeficiente de 0.802. Los estresores están comúnmente presentes en entornos de formación académico–militar, donde su propósito es desafiar y endurecer a los militares en formación. Sin embargo, algunos autores (212,289) sostienen que el estrés crónico no necesariamente mejora la autorregulación de los soldados durante el entrenamiento de combate o las maniobras, sino que puede provocar un descenso en el rendimiento operativo y afectar negativamente la salud neurológica, cardiovascular y general, conduciendo así a resultados subóptimos.

La principal limitación de este estudio fue el tamaño reducido de la muestra y la duración relativamente breve del protocolo, lo que probablemente restringió el poder estadístico de los hallazgos. Además, no se cuantificó la ingesta calórica diaria, ni se emplearon dispositivos tecnológicos avanzados para medir y registrar con precisión las variables fisiológicas relacionadas con la carga de entrenamiento. Otra limitación a considerar al interpretar los resultados del presente estudio es el nivel inicial de condición física de los participantes, así como su experiencia previa en entrenamiento. Aunque todos los participantes demostraron capacidad física suficiente para superar los exámenes de ingreso a la escuela militar y para afrontar un programa de entrenamiento exigente y maniobras militares dentro del plan académico–militar, no compartían el mismo nivel de condición física basal ni antecedentes de entrenamiento. Esta variabilidad pudo haber influido en sus respuestas al entrenamiento, dado que los individuos con mayores niveles de condición física tienden a exhibir adaptaciones fisiológicas menos pronunciadas. Asimismo, la falta de evaluación de la capacidad aeróbica de la muestra constituye otra limitación, ya que este parámetro podría haber proporcionado información valiosa para una interpretación más completa de los hallazgos. Por último, se debe señalar la ausencia de una presentación detallada de la estructura semanal del entrenamiento. Aunque las sesiones de entrenamiento fueron registradas sistemáticamente, la complejidad y el volumen de estos datos impidieron su inclusión en el manuscrito, dificultando así ofrecer una visión clara de la cuantificación de la carga de entrenamiento en el presente estudio.

La investigación futura debería extender el período de monitoreo de los parámetros de rendimiento neuromuscular y psicológico. También se recomienda realizar evaluaciones más completas que incluyan indicadores fisiológicos, hormonales y bioquímicos, contrastando estas medidas con las variables neuromusculares y psicológicas, así como con las valoraciones subjetivas del esfuerzo. Por último, investigaciones adicionales podrían mejorar la comprensión de los estresores internos y externos y sus efectos sobre el rendimiento en tareas militares específicas.

Finalmente, con respecto a las posibles aplicaciones prácticas derivadas de los hallazgos de este estudio, se recomienda encarecidamente optimizar los programas de entrenamiento mediante la implementación de una planificación periodizada que integre el amplio espectro de componentes necesarios para el desempeño futuro del personal militar y el cumplimiento de las misiones. Esto resulta especialmente relevante en unidades altamente operativas y centros de formación académico–militar, donde las demandas son mayores y los participantes se encuentran en una etapa crítica de su desarrollo profesional. En este sentido, los avances en la literatura científica incluyen numerosos estudios que proporcionan información valiosa para diseñar programas de entrenamiento óptimos y sostenibles. Dichos programas avanzados deben basarse en los principios fundamentales del entrenamiento, haciendo hincapié en la individualización y adaptación específica a las necesidades del entorno militar. Asimismo, se recomienda encarecidamente el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo fisiológico para evaluar de manera precisa y completa el rendimiento físico y los niveles de fatiga. Esta información permitiría determinar con mayor exactitud el momento óptimo para introducir microciclos de descarga, recuperación y baja intensidad, o microciclos de choque caracterizados por mayor estrés y elevado volumen y/o intensidad. De esta manera, se dispondría de un análisis actualizado del estado de rendimiento del personal militar, previniendo el sobreentrenamiento fisiológico, la falta de adaptación al entrenamiento y, en consecuencia, la disminución del rendimiento físico y operativo. Por último, se considera fundamental abandonar los programas de entrenamiento tradicionales basados en alta intensidad, elevado volumen y mínimo descanso, y promover una cultura de recuperación estratégica, donde el reposo sea esencial para el progreso y la consolidación de las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento.

8.5. CONCLUSIONES

Los hallazgos del presente estudio subrayan la necesidad de optimizar los programas de entrenamiento militar, particularmente en unidades operativas y centros de formación donde las demandas físicas y psicológicas son elevadas. Una mayor preparación física y militar, combinada con una mentalidad resiliente

sólida, puede, sin duda, superar y afrontar los desafíos inherentes al entorno militar, mejorando así la operatividad y efectividad del personal en el cumplimiento de las misiones. Es evidente que las metodologías tradicionales, caracterizadas por altas cargas de entrenamiento y recuperación limitada, pueden obstaculizar la adaptación física y neuromuscular, al tiempo que mantienen niveles elevados de estrés. Además, la correlación entre las escalas del POMS y del RESTQ-Sport proporcionó una visión integral de los estados de ánimo del personal militar, destacando la persistente activación y tensión. En este contexto, se recomienda firmemente la implementación de una planificación periodizada que integre todos los componentes necesarios para el desempeño operativo, haciendo hincapié en la individualización y la adaptación específica al entorno militar. Para ello, es esencial la incorporación de herramientas tecnológicas de monitoreo fisiológico, que permitan un seguimiento preciso del rendimiento y la fatiga, facilitando así ajustes rigurosos en los ciclos de carga y descarga. Finalmente, es crucial abandonar los enfoques de entrenamiento basados en un volumen e intensidad excesivos con descanso insuficiente, fomentando una cultura de recuperación estratégica como pilar fundamental para consolidar las adaptaciones inducidas por el entrenamiento.

8.6. APÉNDICES

Apéndice A1

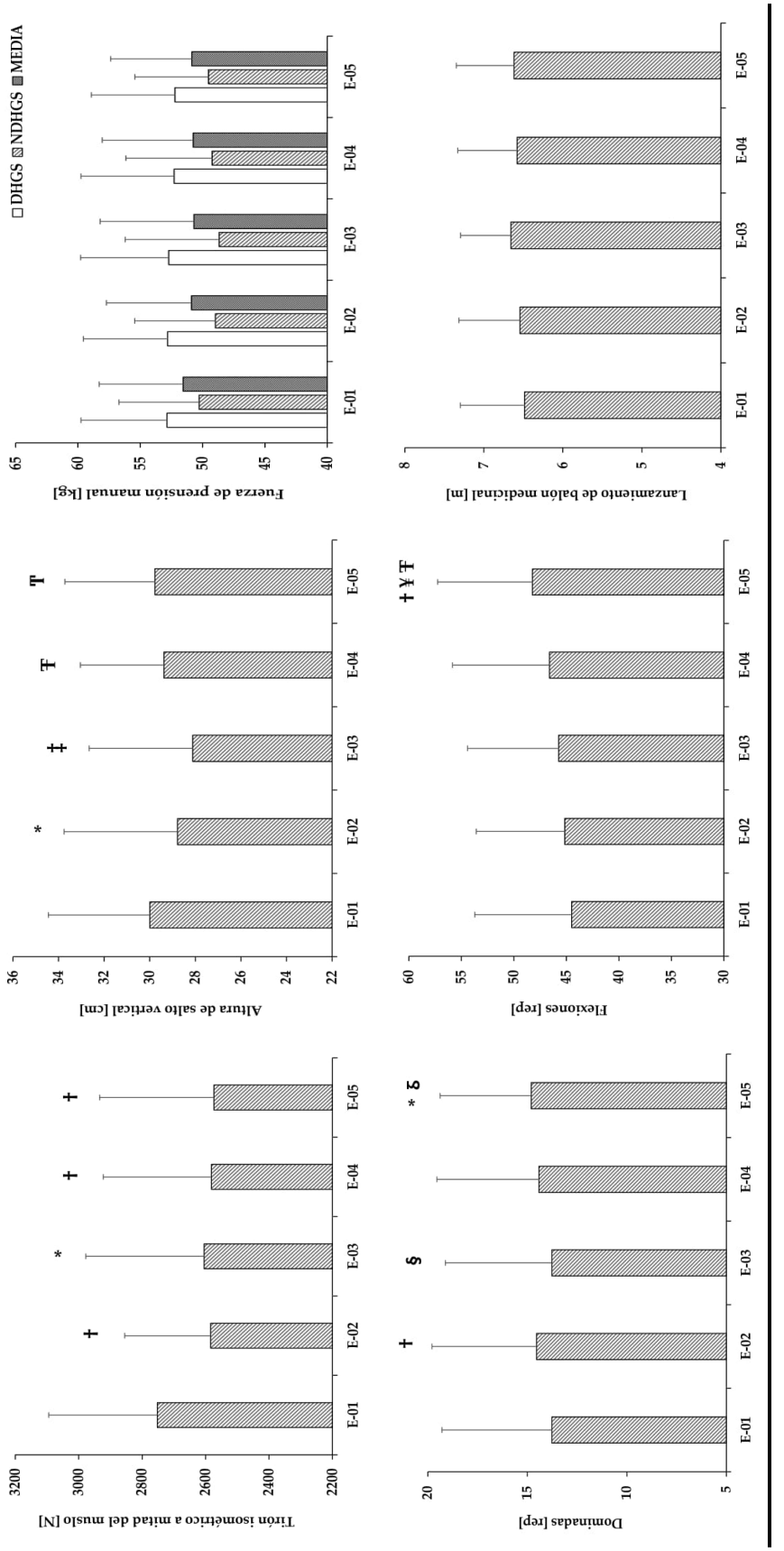
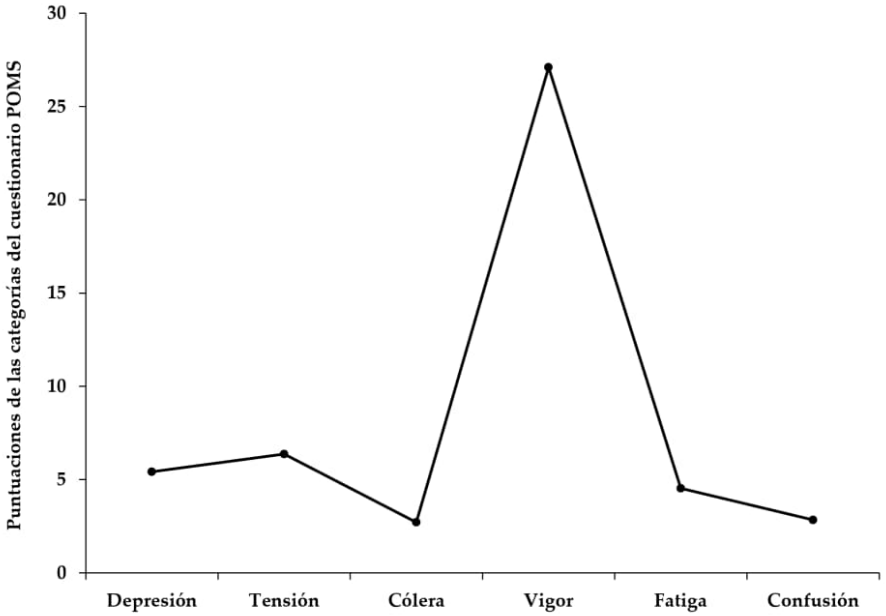


Figura 20. Variables de rendimiento neuromuscular.

Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores: E01: * = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); † = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$); E02: § = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); ¥ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); y E03: δ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); Ŧ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); T = diferencia significativa ($p \leq 0.001$). Los valores se presentan como medias ± SD.

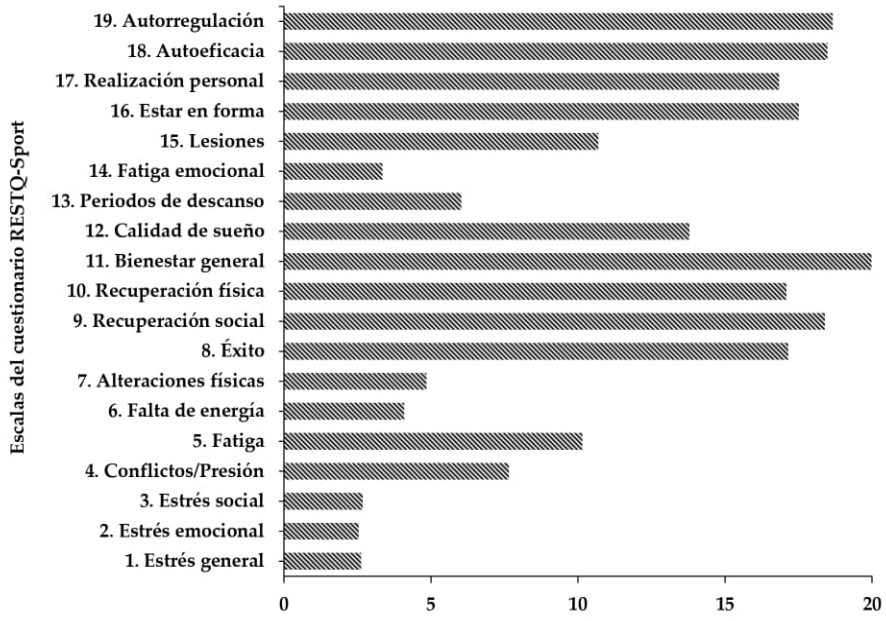
Apéndice A2

Figura 21. Perfil de Iceberg del Cuestionario POMS.



Los valores se presentan como medias ± SD.

Figura 22. Escalas y dimensiones del cuestionario RESTQ-Sport durante 12 semanas.



Los valores se presentan como medias ± SD.

Tabla 5. Resultados de las variables de rendimiento en diferentes momentos de evaluación.

Variables	E01	CV[1]	E02	Δ%[1]	ES[1]	CV[2]	E03	Δ%[2]	ES[2]	CV[3]	E04	Δ%[3]	ES[3]	CV[4]	E05	Δ%[4]	ES[4]	CV[5]
BM [kg]	79.01 ± 7.96	1.4	79.52 ± 7.99 *	0.7	−0.51	1.4	81.00 ± 7.99 ‡Ψ	2.5	−1.23	1.4	79.23 ± 7.61 Ŧ	0.3	−0.16	1.4	78.82 ± 7.53 ¥ŦŪ	−0.2	0.14	1.4
PLUmax [reps]	13.77 ± 5.52	9.1	14.54 ± 5.26 †	5.6	−0.62	8.6	13.77 ± 5.35 §	0.0	0.00	9.1	14.42 ± 5.12	4.7	−0.29	8.7	14.81 ± 4.58 *δ	7.6	−0.46	8.4
PUmax [reps]	44.50 ± 9.23	7.3	45.15 ± 8.43	1.5	−0.17	7.1	45.73 ± 8.68	2.8	−0.26	7.1	46.62 ± 9.23	4.8	−0.32	6.9	48.23 ± 9.03 †¥ŦΦ	8.4	−0.61	6.7
MBT [m]	6.48 ± 0.81	4.4	6.54 ± 0.77	0.9	−0.13	4.3	6.66 ± 0.64	2.8	−0.42	4.2	6.58 ± 0.75	1.5	−0.26	4.3	6.62 ± 0.73	2.2	−0.27	4.3
DHGS [kg]	52.85 ± 6.90	6.0	52.81 ± 6.75	-0.1	0.01	6.0	52.71 ± 7.08	−0.3	0.03	6.0	52.28 ± 7.47	−1.1	0.10	6.1	52.21 ± 6.72	−1.2	0.10	6.1
NDHGS [kg]	50.28 ± 6.43	6.9	48.97 ± 6.47	-6.3	0.26	7.0	48.67 ± 7.54	−6.9	0.25	7.1	49.23 ± 6.93	−5.8	0.24	7.0	49.52 ± 5.91	−5.3	0.19	7.0
IMTP [N]	2752.46 ± 342.21	5.9	2584.23 ± 271.02 †	-6.1	0.64	6.3	2605.12 ± 372.69 †	−5.4	0.54	6.2	2581.96 ± 340.68 †	−6.2	0.66	6.3	2573.96 ± 360.31 †	−6.5	0.65	6.3
VJ CMJ [cm]	30.00 ± 4.45	6.0	28.78 ± 4.98 *	−4.1	0.44	6.3	28.12 ± 4.54 ‡	−6.3	0.71	6.4	29.38 ± 3.67 Ŧ	−2.1	0.20	6.1	29.77 ± 3.95 T	−0.8	0.08	6.0
PP CMJ [W]	3602.35 ± 476.47	6.2	3609.31 ± 504.99	0.2	-0.03	6.2	3449.02 ± 862.03	−4.3	0.22	6.5	3583.69 ± 439.62	−0.5	0.06	6.3	3625.50 ± 411.79	0.6	−0.08	6.2
RFDEcc CMJ [N/s]	4772.62 ± 2064.86	26.3	5757.88 ± 2611.65 †	20.6	−0.69	21.8	5039.15 ± 2153.34	5.6	−0.11	24.9	5016.73 ± 1312.61	5.1	−0.14	25.1	5798.50 ± 1818.77 †Φ	21.5	−0.68	21.7
RFDCon CMJ [N/s]	1563.40 ± 1327.59	30.8	1439.46 ± 1167.51	−7.9	0.08	33.5	1526.46 ± 996.93	−2.4	0.03	31.6	1308.65 ± 926.29	−16.3	0.15	36.8	1379.58 ± 927.84	−11.8	0.15	34.9
PEcc CMJ [N]	1770.23 ± 291.65	8.5	1865.62 ± 353.98	5.4	−0.62	8.1	1866.50 ± 474.11	5.4	−0.23	8.1	1777.35 ± 239.55	0.4	−0.04	8.5	1848.38 ± 265.44	4.4	−0.47	8.2
PCon CMJ [N]	1858.15 ± 257.10	5.4	1932.92 ± 333.30 *	4.0	−0.45	5.2	1891.92 ± 249.29	1.8	−0.26	5.3	1835.19 ± 209.59 ¥δ	−1.2	0.16	5.5	1900.77 ± 243.61 U	2.3	−0.29	5.3
DSI (%)	0.68 ± 0.13	.	0.75 ± 0.15	.	.	.	0.73 ± 0.14	.	.	.	0.71 ± 0.12	.	.	.	0.74 ± 0.14	.	.	.

BM: masa corporal; CMJ: salto con contramovimiento; CV (%): coeficiente de variación (el número en superíndice está vinculado al número de evaluación); DHGS: fuerza de prensión manual de la mano dominante; DSI (%): índice de fuerza dinámica; ES[1]: tamaño del efecto E01–E02; ES[2]: tamaño del efecto E01–E03; ES[3]: tamaño del efecto E01–E04; ES[4]: tamaño del efecto E01–E05; IMTP: tirón isométrico a mitad del muslo; MBT: lanzamiento de balón medicinal; NDHGS: fuerza de prensión manual de la mano no dominante; PCon CMJ: fuerza concéntrica máxima; PEcc CMJ: fuerza excéntrica máxima; PP CMJ: potencia máxima; PLUmax: dominadas máximas; PUmax: flexiones de brazos máximas; RFD: tasa de desarrollo de la fuerza; VJ: altura máxima de salto vertical desde el despegue. Δ%[1]: diferencia porcentual E01–E02; Δ%[2]: diferencia porcentual E01–E03; Δ%[3]: diferencia porcentual E01–E04; y Δ%[4]: diferencia porcentual E01–E05. Los valores se presentan como medias ± SD. Los siguientes símbolos indican diferencias significativas en comparación con los valores de: (A) E01: * = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); † = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); ‡ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$). (B) E02: § = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); ¥ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); Ψ = diferencia significativa ($p \leq 0.001$). (C) E03: δ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); Ŧ = diferencia significativa ($p \leq 0.01$); T = diferencia significativa ($p \leq 0.001$). (D) E04: Φ = diferencia significativa ($p \leq 0.05$); Ū = diferencia significativa ($p \leq 0.01$).

Apéndice A4

Tabla 6. Medias y desviaciones estándar de las seis categorías analizadas del cuestionario POMS.

Semanas	Depresión Melancolía	ES	Tensión Ansiedad	ES	Cólera Hostilidad	ES	Vigor Actividad	ES	Fatiga Inercia	ES	Confusión Desorientación	ES	TMD	Cronbach α
1	4.07 ± 4.47	0.91	6.41 ± 4.26	1.50	2.59 ± 2.90	0.89	24.93 ± 6.92	3.60	2.63 ± 3.19	0.83	3.89 ± 2.56	1.52	156	0.89
2	3.59 ± 4.94	0.73	6.11 ± 4.99	1.22	2.00 ± 3.06	0.65	26.48 ± 7.49	3.54	2.52 ± 3.06	0.82	2.37 ± 1.94	1.22	33	0.91
3	4.70 ± 6.95	0.68	7.04 ± 4.46	1.58	3.33 ± 5.00	0.67	26.22 ± 5.47	4.80	5.15 ± 5.34	0.96	3.52 ± 2.67	1.32	233	0.89
4	5.07 ± 8.37	0.61	6.41 ± 4.49	1.43	2.56 ± 4.52	0.57	27.44 ± 5.76	4.76	5.63 ± 4.65	1.21	3.48 ± 3.34	1.04	184	0.92
5	6.37 ± 9.96	0.64	7.26 ± 5.62	1.29	2.37 ± 4.51	0.53	27.81 ± 5.67	4.91	5.59 ± 4.94	1.13	2.78 ± 2.81	0.99	207	0.92
6	6.74 ± 10.60	0.64	7.15 ± 6.50	1.10	2.78 ± 5.73	0.48	27.85 ± 5.28	5.27	5.30 ± 5.26	1.01	2.37 ± 2.62	0.91	205	0.94
7	2.70 ± 3.89	0.70	5.59 ± 3.65	1.53	1.37 ± 2.72	0.50	27.85 ± 5.33	5.22	3.67 ± 4.58	0.80	2.30 ± 2.33	0.98	-30	0.84
8	5.78 ± 9.86	0.59	6.19 ± 5.76	1.07	2.56 ± 5.02	0.51	27.89 ± 5.80	4.81	3.56 ± 4.25	0.84	2.48 ± 2.59	0.96	102	0.92
9	6.26 ± 10.01	0.63	6.11 ± 4.69	1.30	2.96 ± 4.93	0.60	26.81 ± 7.85	3.41	5.89 ± 6.00	0.98	2.70 ± 3.28	0.82	222	0.94
10	6.41 ± 10.86	0.59	6.11 ± 4.86	1.26	3.48 ± 6.42	0.54	27.48 ± 6.02	4.57	5.07 ± 6.06	0.84	3.11 ± 3.83	0.81	211	0.95
11	7.00 ± 13.90	0.50	6.33 ± 4.45	1.42	3.07 ± 6.32	0.49	27.48 ± 6.82	4.03	5.19 ± 6.11	0.85	2.96 ± 3.31	0.90	221	0.94
12	6.33 ± 13.55	0.47	5.70 ± 5.19	1.10	3.44 ± 6.83	0.50	26.93 ± 8.97	3.00	4.15 ± 5.07	0.82	2.07 ± 2.59	0.80	159	0.94
Media	5.42 ± 9.42	0.77	6.37 ± 4.91	1.80	2.71 ± 4.96	0.70	27.10 ± 6.49	5.47	4.53 ± 5.02	1.15	2.84 ± 2.87	1.34	158.58 ± 83.06	0.92

α: coeficiente Alfa de Cronbach; ES: tamaño del efecto; TMD: alteración total del estado de ánimo. Los valores se presentan como medias ± SD.

Tabla 7. Evolución de los niveles de estrés/recuperación a través de las diecinueve escalas del cuestionario RESTQ-Sport.

Escalas	S/R	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05	E-06	E-07	E-08	E-09	E-10	E-11	E-12	Media	ES
TS	S	5.28 ± 4.76	5.06 ± 4.77	5.68 ± 5.35	5.60 ± 5.48	5.90 ± 5.85	5.73 ± 5.59	5.04 ± 5.37	5.15 ± 5.37	6.22 ± 6.19	5.37 ± 5.84	5.45 ± 5.93	5.08 ± 6.07	5.46 ± 5.57	1.73
TR	R	18.26 ± 3.31	18.15 ± 3.89	17.59 ± 4.30	17.49 ± 4.72	17.62 ± 4.42	17.44 ± 4.55	17.99 ± 4.70	17.24 ± 5.13	17.40 ± 5.08	17.49 ± 4.95	16.84 ± 5.77	17.03 ± 6.36	17.54 ± 4.83	5.13
NSSS	S	4.83 ± 4.58	4.35 ± 4.43	5.02 ± 5.10	5.02 ± 5.25	5.38 ± 5.51	5.30 ± 5.39	4.48 ± 4.97	4.79 ± 5.11	5.57 ± 5.77	4.97 ± 5.49	4.85 ± 5.59	4.70 ± 5.84	4.94 ± 5.27	1.56
1. Estrés general	S	1.81 ± 2.30	1.59 ± 2.04	2.37 ± 3.80	2.52 ± 3.46	3.07 ± 3.72	3.00 ± 3.91	2.00 ± 2.90	3.22 ± 4.39	3.00 ± 4.19	2.96 ± 4.06	3.04 ± 4.69	2.93 ± 5.38	2.63 ± 3.15	0.83
2. Estrés emocional	S	2.48 ± 2.82	2.11 ± 2.59	2.37 ± 3.56	2.41 ± 3.43	2.85 ± 3.30	2.63 ± 3.63	1.63 ± 2.51	3.11 ± 3.92	2.70 ± 4.06	2.89 ± 4.10	2.56 ± 3.97	2.74 ± 4.44	2.54 ± 2.94	0.86
3. Estrés social	S	2.85 ± 3.25	1.89 ± 2.55	2.56 ± 3.83	2.70 ± 3.53	2.26 ± 3.03	3.44 ± 4.60	2.37 ± 3.21	2.85 ± 3.74	2.74 ± 4.39	2.89 ± 3.88	2.41 ± 4.20	3.11 ± 5.55	2.67 ± 3.09	0.86
4. Conflictos/Presión	S	8.37 ± 4.34	7.22 ± 4.70	7.56 ± 3.92	7.63 ± 4.04	8.22 ± 5.32	8.52 ± 5.54	7.19 ± 5.51	8.04 ± 4.82	7.33 ± 5.51	7.30 ± 5.21	7.67 ± 5.62	6.74 ± 5.41	7.65 ± 4.00	1.91
5. Fatiga	S	9.11 ± 5.54	9.81 ± 5.09	11.26 ± 5.40	11.30 ± 6.60	11.00 ± 6.67	10.26 ± 6.28	10.33 ± 6.04	8.96 ± 6.47	11.63 ± 6.12	9.41 ± 6.59	9.93 ± 6.98	8.74 ± 6.57	10.15 ± 4.95	2.05
6. Falta de energía	S	4.63 ± 3.86	3.59 ± 2.53	4.07 ± 3.95	3.67 ± 4.08	4.48 ± 4.81	4.07 ± 4.15	3.93 ± 3.71	3.48 ± 4.35	4.67 ± 4.71	4.30 ± 5.57	4.00 ± 4.44	4.11 ± 5.13	4.08 ± 3.51	1.16
7. Alteraciones físicas	S	4.56 ± 3.45	4.22 ± 3.21	4.93 ± 4.19	4.89 ± 4.20	5.74 ± 5.03	5.19 ± 4.32	3.93 ± 3.12	3.85 ± 3.90	6.89 ± 5.47	5.07 ± 5.31	4.33 ± 4.42	4.56 ± 6.08	4.85 ± 3.36	1.44
NSSR	R	18.27 ± 3.66	17.66 ± 4.23	17.30 ± 4.45	17.16 ± 5.05	17.31 ± 4.55	17.01 ± 4.69	17.61 ± 4.79	17.21 ± 4.93	17.18 ± 4.90	17.26 ± 5.02	16.60 ± 5.57	16.78 ± 6.36	17.28 ± 4.89	5.14
8. Éxito	R	17.78 ± 2.95	16.96 ± 4.00	17.41 ± 4.26	17.04 ± 4.71	17.15 ± 4.04	16.78 ± 4.87	18.11 ± 4.40	16.63 ± 5.64	17.44 ± 4.81	16.63 ± 5.00	17.07 ± 5.45	16.74 ± 6.20	17.15 ± 3.98	4.31
9. Recuperación social	R	19.93 ± 3.26	19.11 ± 3.86	17.22 ± 4.44	18.33 ± 5.20	18.44 ± 5.03	17.74 ± 4.92	18.89 ± 4.36	18.26 ± 4.55	18.33 ± 5.26	18.85 ± 4.58	17.41 ± 5.58	18.22 ± 6.34	18.39 ± 4.13	4.45
10. Recuperación física	R	18.30 ± 3.01	17.67 ± 3.59	17.11 ± 3.97	16.74 ± 5.07	17.30 ± 4.47	17.26 ± 4.25	17.78 ± 4.41	17.44 ± 4.92	16.26 ± 4.75	16.85 ± 4.66	16.19 ± 5.19	16.22 ± 6.83	17.09 ± 3.74	4.57
11. Bienestar general	R	20.78 ± 2.38	20.37 ± 3.52	20.63 ± 3.98	20.11 ± 4.03	20.04 ± 3.50	19.67 ± 3.86	19.85 ± 4.36	19.85 ± 4.12	19.81 ± 4.50	19.85 ± 5.04	19.41 ± 5.32	19.41 ± 6.13	19.98 ± 3.58	5.58
12. Calidad de sueño	R	14.59 ± 3.39	14.19 ± 3.61	14.11 ± 3.24	13.59 ± 4.06	13.63 ± 3.12	13.59 ± 3.49	13.44 ± 4.03	13.89 ± 3.36	14.04 ± 3.20	14.11 ± 4.06	12.93 ± 4.55	13.30 ± 4.85	13.78 ± 2.84	4.86
SSS	S	6.32 ± 5.04	6.72 ± 5.14	7.22 ± 4.63	6.95 ± 5.78	7.11 ± 6.45	6.77 ± 5.95	6.33 ± 6.03	5.99 ± 5.88	7.74 ± 6.87	6.30 ± 6.54	6.85 ± 6.47	5.95 ± 6.53	6.69 ± 6.04	1.84
13. Periodos de descanso	S	6.00 ± 3.86	6.48 ± 3.84	7.19 ± 4.88	7.07 ± 5.07	6.15 ± 5.27	5.30 ± 4.37	5.67 ± 4.84	4.48 ± 4.65	6.93 ± 6.00	5.15 ± 5.25	6.74 ± 5.76	5.19 ± 5.66	6.03 ± 3.98	1.52
14. Fatiga emocional	S	3.19 ± 3.36	2.74 ± 2.88	4.19 ± 4.58	3.15 ± 3.48	4.22 ± 4.97	3.04 ± 3.95	2.74 ± 4.07	3.93 ± 5.55	3.67 ± 4.82	3.44 ± 5.12	2.85 ± 4.34	3.00 ± 4.56	3.35 ± 3.53	0.95
15. Lesiones	S	9.78 ± 5.40	10.93 ± 4.85	10.30 ± 5.76	10.63 ± 5.99	10.96 ± 7.11	11.96 ± 5.42	10.59 ± 6.25	9.56 ± 5.81	12.63 ± 6.58	10.30 ± 7.16	10.96 ± 6.53	9.67 ± 7.37	10.69 ± 5.17	2.07
SSR	R	18.24 ± 2.82	18.76 ± 3.34	17.95 ± 4.10	17.90 ± 4.26	18.00 ± 4.24	17.97 ± 4.34	18.45 ± 4.56	17.28 ± 5.39	17.68 ± 5.31	17.79 ± 4.86	17.13 ± 6.02	17.34 ± 6.37	17.87 ± 4.74	4.96
16. Estar en forma	R	18.52 ± 2.95	18.22 ± 3.21	17.41 ± 4.02	17.74 ± 4.17	17.11 ± 4.06	17.37 ± 3.90	18.67 ± 4.36	16.85 ± 5.63	17.26 ± 5.04	17.15 ± 4.87	16.67 ± 5.20	17.19 ± 6.47	17.51 ± 3.60	4.86
17. Realización personal	R	16.81 ± 2.95	17.70 ± 3.44	17.15 ± 4.40	16.93 ± 4.68	17.22 ± 4.35	17.22 ± 4.79	16.96 ± 4.92	16.74 ± 5.08	15.78 ± 5.80	16.74 ± 4.87	16.59 ± 6.90	16.22 ± 6.65	16.84 ± 4.08	4.13
18. Autoeficacia	R	19.00 ± 2.51	19.19 ± 3.37	18.85 ± 3.56	18.33 ± 3.96	18.59 ± 3.92	18.37 ± 4.16	19.07 ± 4.31	17.85 ± 5.52	18.41 ± 4.98	18.59 ± 4.50	17.78 ± 5.04	17.81 ± 6.45	18.49 ± 3.48	5.31
19. Autorregulación	R	18.63 ± 2.47	19.93 ± 3.06	18.41 ± 4.37	18.59 ± 4.23	19.07 ± 4.51	18.93 ± 4.45	19.11 ± 4.55	17.67 ± 5.55	19.26 ± 4.99	18.67 ± 5.12	17.48 ± 6.95	18.15 ± 6.09	18.66 ± 3.99	4.68
Cronbach α		0.87	0.82	0.85	0.84	0.79	0.81	0.83	0.82	0.87	0.81	0.87	0.93	0.84	.

α: coeficiente Alfa de Cronbach; E: evaluación; ES: tamaño del efecto; NSSR: recuperación no específica del deporte; NSSS: estrés no específico del deporte; R: recuperación; S: estrés; SSR: recuperación específica del deporte; SSS: estrés específico del deporte; TR: recuperación total; TS: estrés total. Los valores se presentan como medias ± SD.

Tabla 8. Correlaciones de Pearson entre las diecinueve escalas del cuestionario RESTQ-Sport y las seis categorías del cuestionario POMS.

Escalas RESTQ-Sport	S/R	Categorías POMS					
		Depresión Melancolía	Tensión Ansiedad	Cólera Hostilidad	Vigor Actividad	Fatiga Inercia	Confusión Desorientación
TS	S	0.79 ‡	0.83 ‡	0.74 ‡	−0.60 ‡	0.89 ‡	0.42 δ
TR	R	−0.80 ‡	−0.55 †	−0.73 ‡	0.90 ‡	−0.56 †	−0.56 †
NSSS	S	0.84 ‡	0.84 ‡	0.80 ‡	−0.65 ‡	0.84 ‡	0.44 δ
1. Estrés general	S	0.89 ‡	0.82 ‡	0.82 ‡	−0.72 ‡	0.80 ‡	0.46 δ
2. Estrés emocional	S	0.93 ‡	0.83 ‡	0.93 ‡	−0.73 ‡	0.70 ‡	0.54 †
3. Estrés social	S	0.90 ‡	0.73 ‡	0.92 ‡	−0.73 ‡	0.64 ‡	0.52 †
4. Conflictos/Presión	S	0.56 †	0.64 ‡	0.48 δ	−0.41 δ	0.51 †	0.09
5. Fatiga	S	0.51 †	0.64 ‡	0.48 δ	−0.34	0.82 ‡	0.27
6. Falta de energía	S	0.85 ‡	0.84 ‡	0.79 ‡	−0.71 ‡	0.80 ‡	0.48 δ
7. Alteraciones físicas	S	0.75 ‡	0.75 ‡	0.71 ‡	−0.57 †	0.91 ‡	0.48 δ
NSSR	R	−0.81 ‡	−0.55 †	−0.75 ‡	0.89 ‡	−0.53 †	−0.50 †
8. Éxito	R	−0.72 ‡	−0.50 †	−0.62 ‡	0.86 ‡	−0.50 †	−0.55 †
9. Recuperación social	R	−0.77 ‡	−0.46 δ	−0.75 ‡	0.85 ‡	−0.36	−0.41 δ
10. Recuperación física	R	−0.78 ‡	−0.60 ‡	−0.71 ‡	0.84 ‡	−0.68 ‡	−0.47 δ
11. Bienestar general	R	−0.85 ‡	−0.54 †	−0.83 ‡	0.89 ‡	−0.46 δ	−0.54 †
12. Calidad de sueño	R	−0.55 †	−0.39 δ	−0.47 δ	0.61 ‡	−0.43 δ	−0.31
SSS	S	0.72 ‡	0.80 ‡	0.68 ‡	-0.54 †	0.91 ‡	0.40 δ
13. Periodos de descanso	S	0.74 ‡	0.72 ‡	0.74 ‡	−0.59 ‡	0.86 ‡	0.48 δ
14. Fatiga emocional	S	0.89 ‡	0.84 ‡	0.81 ‡	−0.74 ‡	0.77 ‡	0.51 †
15. Lesiones	S	0.36	0.56 †	0.31	−0.17	0.73 ‡	0.14
SSR	R	−0.78 ‡	−0.53 †	−0.69 ‡	0.88 ‡	−0.57 †	−0.60 ‡
16. Estar en forma	R	−0.77 ‡	−0.61 ‡	−0.67 ‡	0.81 ‡	−0.72 ‡	−0.53 †
17. Realización personal	R	−0.68 ‡	−0.39 δ	−0.63 ‡	0.84 ‡	−0.44 δ	−0.55 †
18. Autoeficacia	R	−0.78 ‡	−0.55 †	−0.71 ‡	0.86 ‡	−0.54 †	−0.65 ‡
19. Autorregulación	R	−0.74 ‡	−0.49 †	−0.63 ‡	0.86 ‡	−0.50 †	−0.54 †

E: evaluación; ES: tamaño del efecto; NSSR: recuperación no específica del deporte; NSSS: estrés no específico del deporte; R: recuperación; S: estrés; SSR: recuperación específica del deporte; SSS: estrés específico del deporte; TR: recuperación total; TS: estrés total. Los valores se presentan como medias ± SD. El siguiente símbolo indica: δ = correlación significativa ($p \leq 0.05$); † = correlación significativa ($p \leq 0.01$); ‡ = correlación significativa ($p \leq 0.001$).

IX – DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS

IX - DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS

Los militares deben estar preparados para ejecutar tareas y actividades de origen muy diverso, que van desde recorrer largas distancias, superar obstáculos o arrastrar objetos, hasta moverse rápidamente en trayectos cortos, levantar objetos pesados o transportar cargas. Por ello, requieren de un espectro amplio de componentes de aptitud física para aumentar su operatividad (16). Con el propósito de desarrollar estas cualidades, las metodologías tradicionales de entrenamiento militar han optado principalmente por cubrir las altas demandas aeróbicas mediante ejercicio continuo de alto volumen y baja intensidad, prolongado en el tiempo y con escasos periodos de recuperación (20). Sin embargo, esta perspectiva ha relegado el trabajo de fuerza y potencia muscular que es vital para el trabajo que desempeñan. A largo plazo, este tipo de modalidad de entrenamiento puede derivar en una disminución de los niveles de fuerza, limitar la correcta adquisición de adaptaciones neuromusculares y aumentar la probabilidad de lesión (26). Asimismo, la vida castrense mantiene elevados los niveles de estrés, lo cual produce un desequilibrio en el estado de estrés-recuperación que dificulta la correcta progresión en el entrenamiento, aumenta el riesgo de lesión y disminuye la operatividad en el desempeño de tareas militares debido al agotamiento prematuro (20,115).

Una de las principales tareas militares específicas es la carrera con carga, considerada una de las destrezas más exigentes tanto a nivel físico como mental para la infantería española. Dado su evidente interés, relevancia y escasez de información existente al respecto, la aparición de nuevos estudios fundamentados y basados en la evidencia científica sobre entrenamiento y ejercicio permiten analizar y comprender con mayor precisión las demandas reales a las que se enfrentan los militares en contextos operativos. En base a este marco, el objetivo principal de esta Tesis Doctoral fue analizar las demandas físicas y fisiológicas de pruebas militares representativas, así como la monitorización de la carga de entrenamiento en un entorno operativo, con el propósito de fundamentar estrategias más eficaces, específicas y controladas, buscando aportar conocimiento orientado a optimizar la preparación físico-militar, minimizando al mismo tiempo el riesgo de fatiga, sobreentrenamiento y lesión. Los resultados principales de la Tesis evidenciaron que las pruebas militares características, como marchas de endurecimiento y carreras con transporte de carga, impusieron elevadas demandas físicas y neuromusculares. Estas generaron una gran fatiga neuromuscular a pesar de observarse una disminución sustancial en el cansancio percibido y respuestas agudas de potenciación neuromuscular. No obstante, la recuperación permaneció incompleta pasadas 48 h, lo que puede comprometer el rendimiento en tareas

militares posteriores y aumentar el riesgo de lesión si los procesos de recuperación no se gestionan adecuadamente. Del mismo modo, la monitorización del rendimiento neuromuscular y psicológico del personal militar mostró mejoras significativas en las pruebas específicas de campo, PLUmax y PUmax, sin mejoras en MBT, además de un estado sostenido de estrés y tensión psicológica, acompañado de la ausencia de mejora en las pruebas de rendimiento neuromuscular.

En el estudio 1 (233), se cuantificó la fatiga neuromuscular y se evaluó la evolución de la recuperación en los días posteriores a una marcha militar de endurecimiento de 30 km realizada transportando 34 kg de equipo logístico de combate. Los resultados que pudimos observar fueron que la prueba causó una enorme fatiga tras una media superior a 5 h y 30 min de ejercicio, evidenciada por un aumento del 286.2 % en la escala ROF respecto a los valores basales. Aunque la percepción de subjetiva fatiga del personal militar que ejecutó la prueba disminuyó de forma progresiva y significativa, manteniéndose todavía un 75 % por encima del nivel inicial pasada 48 h, los datos objetivos indicaron que en realidad no recuperaron completamente ni la fuerza absoluta total ni la potencia máxima del tren inferior en las 48 h siguientes. Esto se pudo comprobar en las variables de rendimiento evaluadas, lo que subraya la necesidad de ser cautos antes de iniciar nuevas actividades o maniobras militares de alta exigencia física. Pese a que la resiliencia y el espíritu aguerrido del infante español les lleve a minimizar conscientemente la autopercepción de fatiga, esto podría conllevar riesgos significativos, entre ellos, conducir a sobreesfuerzo físico, acelerar la aparición de limitaciones funcionales y aumentar la probabilidad de lesiones musculoesqueléticas.

En este sentido, la IMTP mostró un ligero aumento tras finalizar la prueba, seguido de una disminución significativa a las 24 y 48 h. Este comportamiento podría explicarse por la elevada respuesta psicofisiológica generada por el estrés inducido durante la prueba, como se observó previamente en estudios similares (211,212). Sin embargo, dicho efecto no se produjo en la potencia del tren inferior, la cual disminuyó tras la exigente prueba, reflejándose en reducciones significativas en el VJ en distintos momentos temporales (posprueba, 24 h post y 48 h post). Estos hallazgos resultan especialmente relevantes y merecen ser tenidos en consideración tanto para el diseño de su entrenamiento, como para la planificación de tareas militares posteriores. Una posible explicación pudo ser que la parte superior del cuerpo tuvo que soportar acciones isométricas, mientras que el tren inferior debió realizar numerosas acciones concéntricas y excéntricas implicadas en el desplazamiento, lo que pudo ocasionar mayor fatiga periférica (221), así como diversas alteraciones funcionales (222) que afectaron a los presentes resultados.

En este estudio, los IRPE mostraron un notable aumento en sus parámetros, proporcional a la duración y kilómetros recorridos durante la prueba. Con respecto a la HGS, se observó un aumento en los valores tras la finalización de la prueba, seguido de una ligera tendencia a disminuir, que se pudo explicarse por una adaptación neuromuscular aguda o por el incremento en los niveles de catecolaminas inducido por el esfuerzo en la prueba (180,224,225). Lo contrario sucedió en la prueba de rendimiento de PLUmax, dado que la capacidad de producción de fuerza y/o resistencia muscular del tren superior disminuyó inmediatamente después de la prueba, mostrando una recuperación gradual a las 24 y 48 h. Además, la BM de los militares que ejecutaron la prueba se mantuvo significativamente reducida a las 48 h de su finalización, indicando signos de deshidratación que pudieron haber dificultado la recuperación en los días posteriores.

Tras la realización del primer estudio, en el estudio 2 (254) buscamos analizar el impacto neuromuscular que generaba una prueba de menor duración y mayor intensidad, concretamente una carrera contrarreloj de 5 km portando equipamiento de combate con un peso total de 24 kg, además de observar la evolución de la recuperación de la fatiga ocasionada en los días posteriores. Contra todo pronóstico, los resultados obtenidos indicaron una potenciación aguda de la fuerza y potencia muscular, aumentando por encima de los niveles basales tras la finalización de la carrera con equipo, a pesar de la evidente exigencia de la misma. No obstante, pasadas 24 h los valores disminuyeron significativamente, sin que se evidenciara una recuperación completa pasadas 48 h. En este sentido, las variables analizadas mostraron que los valores de IMTP posprueba fueron aproximadamente un 2 % superiores a los iniciales, y disminuyeron significativamente a las 24 y 48 h. Una posible explicación de estos hallazgos radica en la mayor activación psicofisiológica del sistema nervioso simpático causada por el estrés de la prueba (212), un estado de sobreexcitación que resulta crucial para la supervivencia en escenarios de combate real. De forma paralela, los valores del VJ aumentaron inmediatamente tras la carrera, pero descendieron de manera significativa a las 24 y 48 h posteriores. Los presentes resultados ponen de manifiesto la necesidad de extremar precauciones si se pretende realizar esfuerzos submáximos adicionales, ya que es muy probable que el sistema neuromuscular se encuentre altamente fatigado tras este tipo de actividades. Cabe destacar, además, que estos hallazgos difieren de los reportados de un estudio previo (180) de pruebas similares, aunque de mayor distancia, probablemente debido a que la presente prueba indujo menos fatiga metabólica en comparación con ejercicios de larga duración. Siendo posible que la elevada tensión mecánica resultante de las acciones excéntricas repetidas durante la absorción del peso total en cada zancada y la importante participación de la fase excéntrica en la carrera a alta velocidad,

haya favorecido la potenciación post-activación, contrarrestando así la fatiga inducida (222).

En relación con el número y la gravedad de incidencias de los IRPE registradas, se observó un notable aumento a medida que se incrementó la distancia recorrida, destacando importantes síntomas de fatiga, dificultad para respirar y sudoración excesiva. De manera paralela, los niveles de BL aumentaron en casi un 378.6 % respecto a los valores previos a la prueba, caso similar a los valores de la escala ROF, incrementándose aproximadamente un 282.5 % con una rápida recuperación cercana a la inicial a las 24 y 48 h. En cuanto a los valores de PLUmax, estos fueron similares a los registrados en el primer estudio, manteniéndose en promedio por debajo de los niveles basales, lo que refleja que la prueba causó un impacto negativo sobre el desempeño en tareas militares específicas. Por otra parte, los valores medios de HGS mostraron una tendencia inversa a la observada en la prueba de 30 km del primer estudio, disminuyendo ligeramente tras finalizar la prueba y acto seguido aumentando de forma paulatina, aunque sin alcanzar los valores basales a las 48 h.

Siguiendo con el estudio 3 (290), los objetivos se centraron en evaluar tanto el estado de forma física tras el entrenamiento impartido por los instructores y profesores, como el estado psicológico de los militares en régimen interno de la escuela militar. Para dicho fin, se llevó a cabo una monitorización del rendimiento neuromuscular y psicológico durante parte de su período de formación académico-militar, con el propósito de observar simultáneamente la evolución de la condición física, las fluctuaciones del estado psicológico, y la viabilidad y eficacia de implementar estas herramientas de evaluación en contextos militares. Los resultados confirmaron la presencia de un estado sostenido de estrés y tensión psicológica, acompañado de la ausencia de mejoras en las pruebas de rendimiento neuromuscular, pese a mostrar mejoras significativas en las pruebas específicas de campo PLUmax y PUmax, aunque no en MBT. Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio permitieron evaluar la evolución del rendimiento neuromuscular mediante el CMJ, HGS y IMTP, constatándose que no hubo mejoras significativas entre la primera y última evaluación, e incluso se registró un descenso tras 13 semanas de entrenamiento en la escuela militar. Estos hallazgos sugieren que el plan de entrenamiento aplicado por los instructores y profesores no consiguió inducir adaptaciones neuromusculares en términos de fuerza y potencia muscular, lo que pone en entredicho su efectividad en este aspecto. Este hecho indica que los programas de entrenamiento tradicionales implementaos en el ejército no potencian adecuadamente las capacidades máximas de fuerza y potencia muscular que el militar necesita para mejorar el desempeño de sus funciones asignadas en el campo de batalla, afectando de manera directa a su preparación integral (22).

En consonancia con nuestra hipótesis, los resultados del cuestionario POMS mostraron niveles de estrés constantes en todas las evaluaciones. Es probable que este sea uno de los objetivos de la escuela militar para conseguir que el personal militar en formación adquiera elevados niveles de activación vinculados al vigor, desafiando y endureciendo a los militares en formación, y favoreciendo el desarrollo de la resiliencia requerida para afrontar futuras misiones operativas. Sin embargo, debe señalarse que la exposición prolongada a un estado de estrés crónico puede provocar un descenso en el rendimiento operativo, así como un impacto negativo en la salud neurológica, cardiovascular y general, conduciendo así a un rendimiento subóptimo (212,289). Aunque los valores registrados no son los más elevados que se han evidenciado en otros estudios (283), las puntuaciones más bajas en las categorías negativas del POMS son características de los militares con mayor fortaleza mental y resiliencia, capaces de manejar mejor la presión y utilizar el estrés a su favor en contextos operativos, especialmente cuando este se combina con una condición física óptima (13). Con respecto a los resultados obtenidos del cuestionario RESTQ-Sport, los factores asociados a la carga de entrenamiento (SSR y SSS) destacaron en la configuración del balance global estrés–recuperación. Asimismo, la correlación entre las categorías del POMS y las escalas del RESTQ-Sport proporcionó una visión integral del estado de ánimo del personal militar, evidenciando una persistente activación y tensión, mostrando resultados consistentes y comparables a los obtenidos previamente (288). Cabe destacar que las escalas que más contribuyeron al nivel total de estrés fueron la escala 15 (Lesiones) y la escala 5 (Fatiga), que mostraron una fuerte correlación ($p < 0.001$) con un coeficiente de 0.893.

Tras la cuantificación y análisis de la carga de entrenamiento aplicada a la muestra del presente estudio, los principales factores que explican la ausencia de mejoras significativas durante su desarrollo parecen estar relacionadas con la elevada carga de entrenamiento y la limitada recuperación. Las metodologías tradicionales de entrenamiento empleadas en el ámbito militar pueden obstaculizar la adecuada adaptación física y neuromuscular, al mismo tiempo que mantienen elevados los niveles de estrés. En este contexto, resulta complicado lograr adaptaciones que aumenten la capacidad operativa del personal militar cuando se realizan múltiples sesiones semanales de entrenamiento, de alta intensidad e insuficiente descanso. A largo plazo, esta dinámica conduce a un desequilibrio en la relación estrés-recuperación, a un incremento del estrés metabólico y, en última instancia, a una disminución del rendimiento, tal como ya ha sido demostrado previamente (26). Dicho escenario puede reducir los niveles de fuerza, limitar la correcta adquisición de adaptaciones neuromusculares y aumentar de manera considerable el riesgo de lesiones. Para mitigar estos efectos, no basta únicamente con la implantación de planificaciones que periodicen adecuadamente el entrenamiento e integren los diversos componentes de aptitud física con el

suficiente descanso para la consolidación de adaptaciones longitudinales; sino también resulta imprescindible incorporar evaluaciones periódicas del estado de forma física y psicológico mediante estrategias de monitorización del rendimiento. Estas herramientas constituyen un recurso eficaz para el control y ajuste de la carga de entrenamiento a las necesidades y condición física real del personal militar, favoreciendo la adecuada progresión en el desarrollo de las demandas específicas del entorno castrense, minimizando el riesgo de sobrecarga o estancamiento y garantizando que las adaptaciones fisiológicas obtenidas contribuyan directamente a mejorar la preparación integral requerida en contextos operativos exigentes.

En conclusión, el personal militar está expuesto a unas elevadas demandas físicas, fisiológicas y psicológicas que exigen el desarrollo de un amplio espectro de componentes de aptitud física (16). Esto quedó evidenciado en la ejecución de las pruebas militares características, las cuales generaron una fatiga significativa sin una recuperación completa incluso tras 48 h. Además, se constató que las metodologías tradicionales de entrenamiento implementadas dentro del ejército, basadas predominantemente en altos volúmenes de trabajo aeróbico de baja intensidad, prolongado en el tiempo y con recuperación insuficiente (20), no solo no favorecen, sino que dificultan la consolidación de adaptaciones de fuerza y potencia muscular, cualidades de vital relevancia para incrementar la operatividad y el desempeño de tareas específicas militares en contextos reales (26). Del mismo modo, aunque un estado mantenido de estrés y tensión puede ayudar a forjar la resiliencia del militar, su mantenimiento de forma crónica también supone un riesgo para la salud y el rendimiento. A partir de estos hallazgos, se hace evidente la necesidad de optimizar los programas de entrenamiento militar, incorporando planificaciones periodizadas y flexibles, fundamentadas en los principios del entrenamiento y en una correcta gestión de la carga y de los procesos de recuperación. En este contexto, el desarrollo equilibrado de la resistencia aeróbica y anaeróbica, junto con la fuerza y la potencia máximas, unido al desarrollo del resto de aptitudes físicas, resulta un factor determinante para potenciar el rendimiento del militar en operaciones reales de combate y garantizar el cumplimiento de la misión (22). De este modo, será posible minimizar el riesgo de sobreentrenamiento, fatiga acumulada y lesiones, al tiempo que se maximiza la capacidad operativa del personal militar en el cumplimiento de sus funciones. En este sentido, los avances de la evidencia científica aportan numerosa y valiosa información para el diseño de programas de entrenamiento más eficaces y sostenibles, lo que convierte al momento actual en una oportunidad idónea para empezar su implantación en las escuelas, academias y unidades militares, siendo responsabilidad de los altos Mandos del ejército tomar la decisión de invertir tiempo y recursos en mejorar el recurso más valioso del ejército: su personal en activo.

X – CONCLUSIONES

X - CONCLUSIONES

A partir de los resultados conseguidos en los distintos estudios que integran la presente Tesis Doctoral, y en consonancia con los objetivos planteados y el contexto de aplicación, se establecen las siguientes conclusiones.

10.1. CONCLUSIÓN GENERAL

Las pruebas militares representativas, como las marchas de endurecimiento y las carreras con transporte de carga, imponen elevadas exigencias físicas y neuromusculares que generan respuestas agudas de potenciación neuromuscular y provocan una recuperación incompleta incluso después de 48 h. Paralelamente, la monitorización del rendimiento físico y psicológico en entornos militares constituye una herramienta esencial para el control de la carga y la adecuada planificación del entrenamiento, mediante el diseño de programas ajustados a las exigencias específicas del entorno operativo. En conjunto, estos hallazgos permiten comprender con mayor precisión las demandas fisiológicas propias de estas pruebas características del ámbito militar y fundamentan la necesidad de ajustar los actuales programas de preparación física del Ejército, con el propósito de optimizar el rendimiento físico-operativo, favorecer la consolidación de adaptaciones fisiológicas a largo plazo y reducir el riesgo de fatiga, sobreentrenamiento y lesiones.

10.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Estudio 1:

- La carrera con carga de larga distancia de 30 km causa un impacto neuromuscular significativo y una recuperación incompleta a las 48 horas, lo que podría comprometer la efectividad en tareas operativas posteriores. Estos hallazgos establecen la necesidad de identificar aquellos factores de rendimiento afectados, así como implementar estrategias de entrenamiento y recuperación específicas, en la persecución de optimizar la preparación física en contextos militares reales.

Estudio 2:

- La prueba militar de 5 km impone altas demandas de fuerza, potencia y capacidad anaeróbica, con un impacto neuromuscular significativo con una potenciación aguda tras la realización de la prueba, aunque provocando una recuperación incompleta a las 48 horas. Los efectos

que dicha prueba ocasiona en el organismo recalcan la necesidad de diseñar entrenamientos específicos y periodizados adaptados a la alta exigencia de la prueba, además de realizar un control de la carga y recuperación los días posteriores con el fin de dotar del suficiente descanso al cuerpo para optimizar el rendimiento sin comprometer las adaptaciones de resistencia ni aumentar el riesgo de lesión.

Estudio 3:

- Los programas de entrenamiento militar necesitan de una óptima planificación periodizada, individualizada y adaptada a las necesidades del entorno operativo. Las creencias y metodologías tradicionales, con altos volúmenes y escasa recuperación, obstaculizan las adaptaciones fisiológicas ocasionadas por el entrenamiento y aumentan el estrés. El uso de tecnologías deportivas actuales para monitorear rendimiento físico y psicológico, así como la fatiga, es esencial para ajustar las cargas de entrenamiento de forma precisa y prevenir lesiones, incentivando una cultura de recuperación estratégica que garantice la progresión correcta en la preparación física y psicológica del personal militar.

XI – LIMITACIONES

XI - LIMITACIONES

Las limitaciones de los estudios que conforman la presente Tesis Doctoral no deben interpretarse únicamente como restricciones metodológicas o contextuales, sino también como oportunidades para generar nuevo conocimiento o bien progresar en el ya existente en contextos similares. De este modo, pueden orientar el diseño de futuros estudios o la apertura de nuevas líneas de investigación que profundicen, contrasten o enriquezcan los hallazgos aquí presentados. Dichas limitaciones ponen de manifiesto la complejidad logística y de ejecución que conlleva la realización de estudios experimentales en contextos militares altamente exigentes, así como la necesidad de diseñar procedimientos metodológicos rigurosos que permitan controlar la mayor cantidad de factores multidisciplinares, las cuales a continuación se exponen.

Una de las principales limitaciones fue la no estandarización en el consumo de alimentos y líquidos antes, durante y después de las pruebas. Esta falta de control dietético impidió asegurar una uniformidad nutricional entre los participantes. Resulta evidente que la ingesta de alimentos, antes, durante y después de la prueba de alta exigencia física influye significativamente tanto en el rendimiento físico, como en la capacidad de recuperación y adaptación. Es por eso que se debería de hacer más hincapié en el control nutricional en entornos militares, los cuales son físicamente muy demandantes, y que es poco frecuente su realización en el Ejército español. Aunque se dieron indicaciones previas sobre no ingerir productos o alimentos que no fuesen consumidos habitualmente, resultaba complejo a nivel logístico y procedimental el garantizar la misma ingesta de alimentos en todos los participantes; por lo que se asumió la variabilidad en la ingesta nutricional entre los participantes, la cual pudo haber influido en cierta medida en los resultados obtenidos de rendimiento físico, fatiga aguda y residual, así como la recuperación fisiológica.

En relación con lo anterior, en el estudio 3 de trece semanas de duración no se llevó a cabo una cuantificación detallada de la ingesta calórica diaria. Además, tampoco se realizó una valoración pre-post de la composición corporal mediante el uso de tecnologías avanzadas, como densitometría, bioimpedancia, medición de pliegues cutáneos, u otras, debido al volumen y complejidad de ejecución. En caso de que hubiesen sido realizadas, se habría conseguido una visión más precisa del estado de cambio o fluctuación de variables morfológicas y fisiológicas clave como, por ejemplo, marcadores bioquímicos, frecuencia cardiaca, niveles hormonales, porcentaje de masa muscular y grasa corporal, densidad mineral ósea, descompensaciones musculares a nivel global, entre miembros, o en zonas localizadas, etc. Esta ausencia de realización de dichos protocolos de evaluación

pudo haber reducido la capacidad para establecer inferencia causal entre la carga de trabajo realizada y las señales de rendimiento o fatiga.

Por último, otra limitación relacionada con el estudio 3 fue la duración de trece semanas del protocolo experimental, la cual, de haber sido durante un periodo de tiempo más prolongado, el seguimiento longitudinal de las adaptaciones psicológicas y neuromusculares de los participantes habría permitido observar con mayor precisión la evolución del organismo a la carga de entrenamiento, así como identificar posibles síntomas de fatiga residual o sobreentrenamiento.

XII – APLICACIONES PRÁCTICAS

XII - APLICACIONES PRÁCTICAS

Los hallazgos obtenidos en los estudios que conforman la presente Tesis Doctoral pueden ayudar a la optimización de programas de entrenamiento físico-militar, tras mostrar el impacto de tal magnitud que causan pruebas específicas militares en el organismo, así como la evolución de la recuperación los días posteriores. Estas conclusiones conciencian además sobre la importancia de una planificación más individualizada, basada en evidencias científicas y acorde a los requerimientos físicos de las demandas específicas de cada unidad o misión. Además de un seguimiento del estado físico de los soldados para asegurar las correctas adaptaciones del entrenamiento, favoreciendo estas al aumento de rendimiento físico y, por consiguiente, operativo del personal militar, así como la reducción de la tasa de lesiones relacionadas con el sobreentrenamiento o sobreuso fruto de la exigente carga de trabajo, que se da con tanta frecuencia en entornos militares operativos. Así pues, teniendo en cuenta los hallazgos obtenidos en la presente Tesis Doctoral desde una perspectiva pragmática, se proponen a continuación algunas recomendaciones prácticas que podrían ser consideradas por el personal militar responsable de la preparación física en sus unidades, así como por entrenadores, científicos del ejercicio y preparadores físicos especializados en la fuerza y acondicionamiento físico en contextos militares.

Teniendo en consideración los resultados hallados en la marcha de endurecimiento de 30 km y en la carrera con carga de 5 km, para un mejor rendimiento en la ejecución de las pruebas, se precisa realizar entrenamientos específicos de carrera con carga y acondicionamiento aeróbico, combinados con entrenamiento de fuerza, siendo esenciales para reducir el daño muscular y la fatiga aguda y residual tanto en hombres como en mujeres. Gracias a este enfoque no solo quedarían cubiertas las demandas cardiorrespiratorias y aeróbicas, sino que se dotaría a los músculos del tronco superior e inferior (implicados en la carrera) de las adaptaciones tisulares y neurales necesarias para que fuesen capaces de acomodar y estabilizar el peso total transportado, esenciales para amortiguar el impacto y propulsar tanto la masa corporal como la carga adicional transportada en cada zancada.

Los resultados en las pruebas de rendimiento del estudio 3 recalcan la necesidad de una adecuada periodización del entrenamiento, con el fin de lograr adaptaciones fisiológicas mediante un equilibrio entre el estímulo del entrenamiento y los periodos de recuperación, que en muchas ocasiones por las circunstancias o el contexto militar resulta complicado. De esa forma, la periodización del entrenamiento favorece en la eficiencia operativa y, a la vez, contribuye a la prevención de lesiones para el personal de las Fuerzas Armadas.

En relación con la anterior, resulta apropiado la implementación de una planificación periodizada, flexible e individualizada, que integre el amplio espectro de componentes necesarios para satisfacer las demandas del entorno operativo, basada en los principios fundamentales del entrenamiento. Esto resulta especialmente acertado en unidades altamente operativas y en centros de formación académico-militar, donde las demandas son elevadas y los aspirantes se encuentran en una etapa crucial de su desarrollo profesional.

La monitorización de la fatiga neuromuscular de cada individuo de la unidad militar sería laboriosa, aunque esencial y acertada para llevar un control de la carga de entrenamiento e identificar si los individuos toleran y se recuperan adecuadamente del estrés inducido por la carga de entrenamiento, así como a aquellos que no lo hacen, contribuyendo de esta forma a reducir el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Esto garantizaría altas probabilidades de consolidar adaptaciones fisiológicas con el entrenamiento, asegurando un progreso controlado hacia mayor rendimiento operativo. Además, resultaría beneficioso para mostrar el estado de condición física en el que se encuentra cada individuo antes de participar en otras actividades o maniobras militares físicamente demandantes.

Vinculado a lo anterior, la incorporación de tecnología avanzada de monitoreo fisiológico permite una evaluación precisa y detallada del rendimiento físico, así como una cuantificación de la fatiga. Esta información resultaría clave para determinar con mayor exactitud el momento óptimo para introducir microciclos de recuperación, descarga o baja intensidad, así como microciclos de choque, caracterizados por una mayor carga, incrementando el volumen y/o intensidad del entrenamiento. De esta forma, se obtendría un análisis continuo y actualizado del estado físico de rendimiento del personal militar, previniendo el sobreentrenamiento, adaptaciones insuficientes y, en última instancia, el deterioro del rendimiento tanto físico como operativo.

Las evidencias de los estudios 1 y 2 indican que se debe observar atentamente la recuperación del personal militar tras la realización de pruebas altamente exigentes con el objetivo de no excederse con las cargas de entrenamiento en los días posteriores a su realización, ya que producen elevados niveles de fatiga. Esta recomendación práctica adquiere relevancia especialmente al tener que ejecutar otros ejercicios específicos militares comunes en un período corto de tiempo.

Es conveniente diseñar programas o microciclos de entrenamiento que incorporen períodos de recuperación más prolongados, sobre todo cuando se incorporan pruebas físicas altamente exigentes y más aún bajo condiciones ambientales adversas. Esto se puede respaldar al observarse una recuperación incompleta a las 48 h. Se considera esencial abandonar los programas y creencias tradicionales basados en alta intensidad, elevado volumen y mínimo descanso,

promoviendo una cultura de recuperación estratégica, donde el descanso sea fundamental para el progreso y la consolidación de las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento. La secuencia en la que se ejecutan las tareas militares, deberían ser priorizadas estratégicamente, ya que la fatiga producida por dichas pruebas puede afectar negativamente en la ejecución y eficacia de las operaciones militares posteriores. La falta de control e implementación de estrategias nutricionales, que ayuden a potenciar el rendimiento físico y reducir riesgos para la salud, observado durante las intervenciones en el contexto militar son de especial relevancia para perfeccionar futuras intervenciones en este campo.

En resumen, resulta recomendable adoptar estrategias periodizadas, nutricionales, individualizadas y fundamentadas en los principios del entrenamiento, junto con un seguimiento continuo mediante tecnologías de monitoreo fisiológico. Estas mejoras permitirían mostrar objetivamente el estado físico del militar y optimizar la preparación físico-militar, consiguiendo una progresión controlada, adecuada, y evitando la fatiga, el sobreentrenamiento y las lesiones, que conllevará en última instancia hacia la máxima operatividad y efectividad en el cumplimiento de la misión.

XIII – FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

XIII - FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir de los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral, surgen posibles líneas de investigación que pueden desarrollarse con el fin de aumentar y profundizar el conocimiento existente en diversas áreas del contexto militar. Además, estas propuestas brindan la valiosa oportunidad de solventar las limitaciones detectadas en los presentes estudios, contribuyendo en última instancia a optimizar la preparación físico-militar. A continuación, se exponen algunas de ellas.

En primer lugar, realizar pruebas similares en condiciones operativas, analizando el impacto de la prueba producido en el organismo durante periodos de seguimiento prolongados de más de 48 h, con el objetivo de evaluar la evolución del rendimiento en pruebas neuromusculares y específicas militares, así como la recuperación o cuantificación de la fatiga aguda y residual.

Ejecutar pruebas específicas militares evaluando su impacto en el organismo del personal militar a mediante indicadores neuromusculares y parámetros endocrinos y bioquímicos, con un enfoque multidimensional que permita contrastar datos objetivos (fisiológicos, hormonales, metabólicos) con valoraciones subjetivas del esfuerzo y la fatiga que ayuden a entender qué efectos causan dichas pruebas del entorno militar.

Explorar estrategias nutricionales específicas para antes, durante y después de la ejecución de la prueba militar específica, orientadas a optimizar tanto el rendimiento inmediato como la recuperación funcional a corto plazo para futuras misiones. En esta misma línea, podrían explorarse intervenciones orientadas a acelerar la recuperación neuromuscular, con el fin de restablecer en el menor tiempo posible el estado óptimo de preparación para el combate.

Estudiar nuevos diseños y variantes de entrenamiento periodizado que mejoren el amplio espectro de componentes de aptitud física de los militares.

Investigar la interacción entre el estrés y la fatiga física, y el desempeño cognitivo en tareas militares específicas realizadas posteriormente al esfuerzo.

Estudiar los efectos de condiciones extremas de frío, calor o altitud en la fatiga, recuperación y rendimiento de tareas militares específicas. En relación con esto, se podrían diseñar estrategias o protocolos de prevención para minorizar las consecuencias negativas de tales condiciones ambientales.

Por último, caracterizar con mayor precisión los estresores internos y externos que influyen en el desempeño de tareas militares específicas, contribuyendo así al diseño de estrategias o desarrollo de programas de entrenamiento más eficaces.

XIV – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

XIV - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Trigger BG. Understanding early civilizations: A comparative study. Cambridge: Cambridge University Press; 2003. p. 240–63.
2. Hanson VD. Hoplites : The classical Greek battle experience. 1ª ed. London and New York: Routledge; 1993. 310 p.
3. Keegan J. A history of warfare. 1ª ed. New York: Knopf doubleday publishing group; 1993. 496 p.
4. Gabriel RA, Metz KS. A short history of war: The evolution of warfare and weapons. Carlisle Barracks (PA): Strategic Studies Institute U.S. Army War College; 1992. p. 130. Final report: ADA255111.
5. Gabriel RA, Metz KS. From Sumer to Rome: The military capabilities of ancient armies. Bloomsbury Academic; 1991. 208 p.
6. Hanson VD. The Western way of war: Infantry battle in Classical Greece. Berkeley, CA: University of California Press; 2009, 324 p.
7. Fernández Sirvent R. Francisco Amorós y los inicios de la educación física moderna: Biografía de un funcionario al servicio de España y Francia. Alicante: Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. 2005; 393 pp.
8. Torrebadella i Flix X. Antecedentes en la institucionalización de la gimnástica militar española (1800-1852). Rev Hist Mil. 2012;(111):185-244.
9. Delgado VLA, Martí XP. El deporte militar como objeto de estudio histórico: algunas consideraciones a modo de introducción. Rev Univ Hist Mil. 2021;10(21):10-8.
10. Fernández-Sirvent R. La impronta militar en los orígenes de la gimnasia terapéutica. España y Francia, siglo XIX: una panorámica histórica e historiográfica. Rev Univ Hist Mil. 2018;7(15):39-58.
11. Torrebadella Flix X. La Escuela Central de Gimnasia del Ejército de Infantería en Toledo (1919-1930): Textos y contextos en la configuración de la educación física y el deporte militar en España. Rev Univ Hist Mil. 2019;8(16):182-206.
12. U.S. Department of the Army. FM 7-22: Holistic health and fitness. Washington (DC): Headquarters, Department of the Army; 2020. Disponible en: https://armypubs.army.mil/ProductMaps/PubForm/Details_Printer.aspx?PUB_ID=1020968.

13. Vaara JP, Groeller H, Drain J, Kyröläinen H, Pihlainen K, Ojanen T, et al. Physical training considerations for optimizing performance in essential military tasks. Eur J Sport Sci. 2022;22(1):43-57.

14. Hauschild VD, DeGroot DW, Hall SM, Grier TL, Deaver KD, Hauret KG, et al. Fitness tests and occupational tasks of military interest: A systematic review of correlations. Occup Environ Med. 2017;74(2):144-53.

15. Research and technology. Optimizing operational physical fitness. NATO Science and Technology Organization; 2009. Disponible en: 10.14339/RTO-TR-HFM-080

16. Nindl BC, Alvar BA, R Dudley J, Favre MW, Martin GJ, Sharp MA, et al. Executive summary from the National Strength and Conditioning Association's second blue ribbon panel on military physical readiness: Military physical performance testing. J Strength Cond Res. 2015;29(11):S216-220.

17. Nindl BC, Williams TJ, Deuster PA, Butler NL, Jones BH. Strategies for optimizing military physical readiness and preventing musculoskeletal injuries in the 21st century. US Army Med Dep J. 2013;5-23.

18. Nindl BC, Kyröläinen H. Editorial: Military human performance optimization: Contemporary issues for sustained and improved readiness. Eur J Sport Sci. 2022;22(1):1-3.

19. Szivak TK, Kraemer WJ. Physiological readiness and resilience: Pillars of military preparedness. J Strength Cond Res. 2015;29(11):S34-39.

20. Kyröläinen H, Pihlainen K, Vaara JP, Ojanen T, Santtila M. Optimising training adaptations and performance in military environment. J Sci Med Sport. 2018;21(11):1131-8.

21. Friedl KE, Knapik JJ, Häkkinen K, Baumgartner N, Groeller H, Taylor NAS, et al. Perspectives on aerobic and strength influences on military physical readiness: Report of an international military physiology roundtable. J Strength Cond Res. 2015;29(11):S10-23.

22. Kraemer WJ, Szivak TK. Strength training for the warfighter. J Strength Cond Res. 2012;26(2):S107-118.

23. Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. Eur J Appl Physiol. 2003;89(1):42-52.

24. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. Eur J Appl Physiol. 1980;45(2-3):255-63.

25. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. J Appl Physiol. 1995;78(3):976-89.

26. Santtila M, Kyröläinen H, Häkkinen K. Changes in maximal and explosive strength, electromyography, and muscle thickness of lower and upper extremities induced by combined strength and endurance training in soldiers. J Strength Cond Res. 2009;23(4):1300-8.

27. Bergeron MF, Nindl BC, Deuster PA, Baumgartner N, Kane SF, Kraemer WJ, et al. Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine consensus paper on extreme conditioning programs in military personnel. Curr Sports Med Rep. 2011;10(6):383-9.

28. Knapik JJ, Rieger W, Palkoska F, Van Camp S, Darakjy S. United States Army physical readiness training: rationale and evaluation of the physical training doctrine. J Strength Cond Res. 2009;23(4):1353-62.

29. Nindl BC, Jaffin DP, Dretsch MN, Cheuvront SN, Wesensten NJ, Kent ML, et al. Human performance optimization metrics: Consensus findings, gaps, and recommendations for future research. J Strength Cond Res. 2015;29(11):S221-245.

30. Nindl BC, Jones BH, Van Arsdale SJ, Kelly K, Kraemer WJ. Operational physical performance and fitness in military women: Physiological, musculoskeletal injury, and optimized physical training considerations for successfully integrating women into combat-centric military occupations. Mil Med. 2016;181(1):50-62.

31. Cordain L, Gotshall RW, Eaton SB, Eaton SB. Physical activity, energy expenditure and fitness: An evolutionary perspective. Int J Sports Med. 1998;19(5):328-35.

32. Domínguez Monedero AJ. La polis y la expansión colonial Griega. Siglos XIII-VI. 3ª ed. Madrid: Síntesis; 1991. 287 p.

33. Goldsworthy AK. The Complete Roman Army. 1ª ed. Thames & Hudson; 2003. 224 p.

34. Keen M. Historia de la guerra en la Edad Media. Madrid: Antonio Machado Libros; 2018. 439 p.

35. Velayos SM. La guerra en la historia. 1ª ed. Salamanca:Universidad de Salamanca; 1999. 326 p.

36. Hollister CW. Medieval Europe: A short history. 2ª ed. New York: John Wiley & sons, INC; 1968. 388 p.

37. Black J. European Warfare, 1494-1660. Routledge; 2005. 257 p.

38. Parker G. The military revolution: Military innovation and the rise of the West, 1500-1800. New York: Cambridge University Press; 1988. 266 p.

39. Glete J. War and the state in early modern Europe: Spain, the Dutch Republic and Sweden as Fiscal-military States, 1500-1660. Psychology Press; 2002. 290 p.

40. East WB. A historical review and analysis of army physical readiness training and assessment. Fort Leavenworth (KS): U.S. Army Command and General Staff College, Combat Studies Institute; 2013. Technical report: OMB n.º 0704-0188.

41. Knapik JJ. The importance of physical fitness for injury prevention: part 1. J Spec Oper Med Peer Rev J SOF Med Prof. 2015;15(1):123-7.

42. Thomas H. The golden age: The spanish empire of Charles V. Allen Lane; 2010. 696 p.

43. Notario López I, Notario López I. The Spanish Tercios 1536-1704. 1ª ed. Oxford: Osprey Publishing. 48 p.

44. Parker G. The army of flanders and the spanish road, 1567-1659: The logistics of spanish victory and defeat in the low countries' wars. Cambridge University Press; 2004. 338 p.

45. Kuethe AJ, Andrien KJ. The spanish Atlantic world in the Eighteenth Century: War and the Bourbon reforms, 1713–1796. 1ª ed. New York: Cambridge University Press; 2014, 402 p.

46. Andújar Castillo F. La educación de los militares en la España del siglo XVIII. Chron Nova Rev Hist Mod Univ Granada. 1991;(19):31-56.

47. Martínez E. Algunas consideraciones sobre el estado de la Infantería española a finales del siglo XVIII. Dialnet. 2020, ISBN 978-84-121566-2-1, 455-464 p.

48. Cubillo Abián DA. La oficialidad de infantería en el Ejército borbónico (1720-1790): pensamiento, políticas y resistencias a la formación académica. Ministerio de Defensa; 2024.

49. Torrebadella i Flix X. La Educación Física comparada en España (1806-1936). Hist Soc Educ. 2014;3(1):25-53.

50. Fernández DM. Las campañas de Marruecos (1909-1927). Rev Univ Hist Mil. 2013;2(3):58-71.

51. Serrano Sáenz de Tejada G. De la guerra de Marruecos y el combate que no debió ser. Madrid: Ministerio de Defensa; 2013. Disponible en: https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/P/D/PDF426.pdf

52. Fontenla Ballesta S. La guerra de Marruecos (1907 – 1927): Historia completa de una guerra olvidada. 4ª ed. Madrid: La esfera de los libros; 2017. Disponible en: https://www.esferalibros.com/libros/la-guerra-de-marruecos-1907-1927/

53. Jackson G. La República española y la Guerra Civil, l931-l939. 2ª ed. Barcelona: Editorial Crítica, Grupo Editorial Grijalbo; 1976. 508 p.

54. Flix XT. Educación física y deporte militar durante la II República española (1931-1936). Rev Univ Hist Mil. 2021;10(21):102-32.

55. Ministerio de la Guerra: Reglamento provisional de gimnasia para infantería. Madrid: Talleres del Depósito de la Guerra; 1911.

56. Dirección General de Preparación en Campaña. Reglamento de instrucción física para el ejército, t. III. Madrid: Talleres Depósito de la Guerra; 1927.

57. Ministerio del Ejército. Reglamento de Educación Física para el Ejército. Tomo I. Madrid: Imprenta del Servicio Geográfico del Ejército; 1947.

58. Ministerio del Ejército. Plan de adiestramiento físico-militar (Tablas). Madrid: Ministerio del Ejército; 1954.

59. Ministerio del Ejército. Estado Mayor Central. Normas comunes a todas las armas y cuerpos para la instrucción físico-militar. Madrid: Imprenta del servicio geográfico del Ejército; 1967.

60. Ministerio del Ejército, Estado Mayor del Ejército. Manual de instrucción físico-militar (M-0-3-20). Madrid: Estado Mayor del Ejército; 1977.

61. Ministerio del Ejército, Estado Mayor del Ejército. Manual de instrucción físico-militar M-0-6-3. Tomos I y II. Madrid: Imprenta del patronato de huérfanos del Ejército de Tierra; 1990.

62. Ministerio de Defensa, Ejército de Tierra. Manual de instrucción y adiestramiento físico-militar MI7-007. Madrid: Ejército de Tierra; 1996.

63. NATO science and technology organization. Optimizing operational physical fitness; 2009. Human factors and medicine panel: STO technical report AC/323. Disponible en: https://www.sto.nato.int/document/optimizing-operational-physical-fitness/

64. U.S. Department of the Army. Holistic health and fitness testing. Washington (DC): Headquarters, Department of the Army; 2020. ATP 7-22.01. Disponible en: https://rdl.train.army.mil/catalog-ws/view/100.ATSC/4C9DF242-47EE-41AB-AAD0-514A891180CA-1601305282153/atp7_22x01wc1.pdf

65. España. Ministerio de Defensa. Real Decreto 96/2009, de 6 de febrero, por el que se aprueban las Reales Ordenanzas para las Fuerzas Armadas. Boletín Oficial del Estado, 2009.

66. McCarthy A, Wills JA, Fuller JT, Cassidy S, Nindl BC, Doyle TLA. Predicting maximal military occupational task performance from physical fitness tests using machine learning. Med Sci Sports Exerc. 2025;57(9):1877-85.

67. Sharp MA, Cohen BS, Boye MW, Foulis SA, Redmond JE, Larcom K, et al. U.S. Army physical demands study: Identification and validation of the physically demanding tasks of combat arms occupations. J Sci Med Sport. 2017;20(4):S62-7.

68. Hauschild V, DeGroot D, Hall S, Deaver K, Hauret K, Grier T, Jones B. Correlations between physical fitness tests and performance of military tasks: A systematic review and meta-analyses. Aberdeen Proving Ground (MD): U.S. Army Public Health Command, lnjury Prevention Program; 2014. PHR n.º 12-02-0614. Disponible en: https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA607688.pdf

69. Knapik JJ, Reynolds KL, Harman E. Soldier load carriage: historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. Mil Med. 2004;169(1):45-56.

70. Walsh GS, Low DC. Military load carriage effects on the gait of military personnel: A systematic review. Appl Ergon. 2021;93:103376.

71. Hoyt RW, Opstad PK, Haugen AH, DeLany JP, Cymerman A, Friedl KE. Negative energy balance in male and female rangers: effects of 7 d of sustained exercise and food deprivation. Am J Clin Nutr. 2006;83(5):1068-75.

72. Knapik J, Reynolds K, Staab J, Vogel JA, Jones B. Injuries associated with strenuous road marching. Mil Med. 1992;157(2):64-7.

73. Sharp MA, Knapik JJ, Schoppert AW. Energy cost and efficiency of a demanding combined manual materials-handling task. Work Read Mass. 1994;4(3):162-70.

74. U.S. Department of the Army. Soldier's manual of common tasks: Warrior skills, level 1, n.º STP 21-1-SMCT. Washington (DC): Headquarters, Department of the Army; 2023. Disponible en: https://www.first.army.mil/Portals/102/STP%2021-1-SMCT.pdf

75. U.S. Army Public Health Command. Correlations between physical fitness tests and performance of military tasks. A systematic review and meta-analyses. Aberdeen Proving Ground (MD): U.S. Army Public Health Command, lnjury Prevention Program; 2014. PHR n.º 12-02-0614.

76. Ministerio de Defensa, Ejército de Tierra. Instrucción Físico-Militar (IFM). Tomo I (MI-003). Madrid: Mando de Adiestramiento y Doctrina; 2015. Resolución 513/06681/15.

77. Nindl BC, Castellani JW, Warr BJ, Sharp MA, Henning PC, Spiering BA, et al. Physiological employment standards III: physiological challenges and consequences encountered during international military deployments. Eur J Appl Physiol. 2013;113(11):2655-72.

78. Larsson J, Dencker M, Olsson MC, Bremander A. Development and application of a questionnaire to self-rate physical work demands for ground combat soldiers. Appl Ergon. 2020;83:103002.

79. Pihlainen K, Santtila M, Häkkinen K, Kyröläinen H. Associations of physical fitness and body composition characteristics with simulated military task performance. J Strength Cond Res. 2018;32(4):1089-98.

80. Aandstad A. Association between performance in muscle fitness field tests and skeletal muscle mass in soldiers. Mil Med. 2020;185(5-6):e839-46.

81. Bompa T, Buzzichelli C. Periodización: Teoría y metodología del entrenamiento. 4ª ed. Tutor; 2019.

82. U.S. Department of the Army. Field manual FM 7-0: Training. Washington (DC): Headquarters, Department of the Army; 2021. Disponible en: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/ARN35076-FM_7-0-000-WEB-1.pdf

83. Jabłońska-Wołoszyn M, Sirko S, Piotrowska-Trybull M. Improving the technical training process in the armed forces – research report. Sci Pap Silesian Univ Technol Organ Manag Ser. 2022;159:119-31.

84. U.S. Army Training and Doctrine Command. Fort Eustis (VA): The U.S. Army concept for cyberspace and electronic warfare operations. Department of the Army Headquarters, U.S. Army TRADOC Pamphlet 525-8-6; 2018. Disponible en: https://adminpubs.tradoc.army.mil/pamphlets/TP525-8-6.pdf

85. U.S. Marine Corps. Tactical fundamentals: B2B2269 student handout. Camp Barrett (VA): The basic school Marine Corps training command; 2015. Disponible en: https://www.trngcmd.marines.mil/Portals/207/Docs/TBS/B2B2269%20Tactical%20Fundamentals.pdf?ver=2015-06-08-142423-523

86. U.S. Department of the Army. Field manual FM 3-90: Tactics. Washington (DC): Headquarters, Department of the Army; 2023. Disponible en: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/ARN38160-FM_3-90-000-WEB-1.pdf

87. Campbell-Sills L, Kessler RC, Ursano RJ, Sun X, Taylor CT, Heeringa SG, et al. Predictive validity and correlates of self-assessed resilience among U.S. Army soldiers. Depress Anxiety. 2018;35(2):122-31.

88. Sefidan S, Pramstaller M, La Marca R, Wyss T, Sadeghi-Bahmani D, Annen H, et al. Resilience as a protective factor in basic military training, a longitudinal study of the swiss armed forces. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(11):6077.

89. Tornero-Aguilera JF, Stergiou M, Rubio-Zarapuz A, Martín-Rodríguez A, Massuça LM, Clemente-Suárez VJ. Optimising combat readiness: Practical strategies for integrating physiological and psychological resilience in soldier training. Healthc Basel Switz. 2024;12(12):1160.

90. Good CH, Brager AJ, Capaldi VF, Mysliwiec V. Sleep in the United States military. Neuropsychopharmacol Off Publ Am Coll Neuropsychopharmacol. 2020;45(1):176-91.

91. Bustamante-Sánchez Á, Tornero-Aguilera JF, Fernández-Elías VE, Hormeño-Holgado AJ, Dalamitros AA, Clemente-Suárez VJ. Effect of stress on autonomic and cardiovascular systems in military population: A systematic review. Cardiol Res Pract. 2020;2020:7986249.

92. Carrasco A, Navren M, Larsson I, Taube F, Björkman F. Systematic review and meta-analysis: Iron deficiency and iron deficiency anemia among military recruits undergoing basic combat training. Mil Med. 2025;190(3-4):541-53.

93. U.S. Army Combat Feeding Directorate, U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine. Warfighter's guide to performance nutrition and operational rations (1ª ed.). Natick Soldier Systems Center; 2017.

94. Arcarazo García LA. La alimentación del Ejército de Tierra en operaciones: la ración individual de combate. Sanid Mil. 2014;70(4):293-306.

95. Knapik JJ, Trone DW, Steelman RA, Farina EK, Lieberman HR. Prevalence of and factors associated with dietary supplement use in a stratified, random sample of US military personnel: The US military dietary supplement use study. J Nutr. 2021;151(11):3495-506.

96. Eskimez Z, Keskin A, Kurt E, Özbarlas HS, Tekin M, Kundakçı B. 4-7-8 Breathing techniques make it possible to reduce pain associated with total knee arthroplasty: A new technique in respiratory exercises. J Perianesthesia Nurs Off J Am Soc PeriAnesthesia Nurses. 2025;S1089-9472(25)00147-9.

97. Birdee G, Nelson K, Wallston K, Nian H, Diedrich A, Paranjape S, et al. Slow breathing for reducing stress: The effect of extending exhale. Complement Ther Med. 2023;73:102937.

98. Selye H. The general-adaptation-syndrome. Annu Rev Med. 1951;2:327-42.

99. Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. Med Sci Sports Exerc. 2013;45(1):186-205.

100. Terrados N, Mielgo-Ayuso J, Delextrat A, Ostojic SM, Calleja-Gonzalez J. Dietetic-nutritional, physical and physiological recovery methods post-competition in team sports. J Sports Med Phys Fitness. 2019;59(3):415-28.

101. Altarriba-Bartes A, Peña J, Vicens-Bordas J, Milà-Villaroel R, Calleja-González J. Post-competition recovery strategies in elite male soccer players. Effects on performance: A systematic review and meta-analysis. PloS One. 2020;15(10):e0240135.

102. Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, Brink M, Coutts AJ, Duffield R, et al. Recovery and performance in sport: Consensus statement. Int J Sports Physiol Perform. 2018;13(2):240-5.

103. Li S, Kempe M, Brink M, Lemmink K. Effectiveness of recovery strategies after training and competition in endurance athletes: An umbrella review. Sports Med (open). 2024;10(1):55.

104. Bompa T. Periodización del entrenamiento deportivo: Programas para obtener el máximo rendimiento en 35 deportes. 3ª ed. Paidotribo; 2006.

105. Alim H, Yuliana A, Subramaniam SA, Nor NM. Cognitive readiness of military personnel: Issues and considerations for Malaysian Army. IJ-ARPED. 2023;12(4), 1–13.

106. Morrison J, Fletcher JD. Cognitive Readiness. Alexandria (VA): Institute for Defense Analyses; 2002. Technical Report: P-3735.

107. Vrijkotte S, Roelands B, Meeusen R, Pattyn N. Sustained military operations and cognitive performance. Aerosp Med Hum Perform. 2016;87(8):718-27.

108. Montero García M. La moral militar de los soldados españoles durante las guerras coloniales, 1895-1898. Rev Hist Mil. 2017;(121):199-234.

109. Torrebadella i Flix X. La bibliografía gimnástica y deportiva de la educación física en el ejército español (1808-1919): textos en contexto social. Rev Univ Hist Mil. 2016;5(9):172-92.

110. Aparici JM. Instrucción para la enseñanza de la gimnástica en los cuerpos de tropas y establecimientos militares. Madrid: s.n.; 1852. 222+27.

111. Pastor Pradillo JL. La aportación del ejército al desarrollo de la actividad físico-deportiva en España. Rev Esp Educ Física Deport REEFD. 2010;(390):39-76.

112. España. Depósito de la Guerra. Táctica de infantería: Instrucción del recluta. Madrid: Imprenta Nacional; 1881.

113. Salinas y Angulo, I. Manual para las clases de tropa: Obra declarada de texto para las academias regimentales del arma de infantería por Real Orden de 23 de junio de 1893. Madrid: Imprenta de Enrique Rubiños; 1893.

114. Martín Coba L. La escuela central de educación física en la actualidad. Rev Esp Educ Física Deport REEFD. 2019;(425):137-53.

115. Tait JL, Drain JR, Bulmer S, Gastin PB, Main LC. Factors predicting training delays and attrition of recruits during basic military training. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(12):7271.

116. Kraemer WJ, Ratamess NA, Flanagan SD, Shurley JP, Todd JS, Todd TC. Understanding the science of resistance training: an evolutionary perspective. Sports Med. 2017;47(12):2415-35.

117. Kraemer WJ, Vescovi JD, Volek JS, Nindl BC, Newton RU, Patton JF, et al. Effects of concurrent resistance and aerobic training on load-bearing performance and the Army physical fitness test. Mil Med. 2004;169(12):994-9.

118. Amara S, Barbosa TM, Negra Y, Hammami R, Khalifa R, Chortane SG. The effect of concurrent resistance training on upper body strength, sprint swimming performance and kinematics in competitive adolescent swimmers. A randomized controlled trial. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(19):10261.

119. Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. Sports Med. 2000;30(6):385-94.

120. Leveritt M, Abernethy PJ. Acute effects of high-intensity endurance exercise on subsequent resistance activity. J Strength Cond Res. 1999;13(1):47-51.

121. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SMC, Loenneke JP, Anderson JC. Concurrent training: A meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. J Strength Cond Res. 2012;26(8):2293-307.

122. Romero-Arenas S, Martínez-Pascual M, Alcaraz PE. Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. Aging Dis. 2013;4(5):256-63.

123. Alcaraz PE, Sánchez-Lorente J, Blazevich AJ. Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. J Strength Cond Res. 2008;22(3):667-71.

124. Ramos-Campo DJ, Andreu Caravaca L, Martínez-Rodríguez A, Rubio-Arias JÁ. Effects of resistance circuit-based training on body composition, strength and cardiorespiratory fitness: A systematic review and meta-analysis. Biology. 2021;10(5):377.

125. Ramos-Campo DJ, Rubio-Arias JÁ, Freitas TT, Camacho A, Jiménez-Diaz JF, Alcaraz PE. Acute physiological and performance responses to high-intensity resistance circuit training in hypoxic and normoxic conditions. J Strength Cond Res. 2017;31(4):1040-7.

126. Vantarakis A, Chatzinikolaou A, Avloniti A, Vezos N, Douroudos II, Draganidis D, et al. A 2-month linear periodized resistance exercise training improved musculoskeletal fitness and specific conditioning of navy cadets. J Strength Cond Res. 2017;31(5):1362-70.

127. Clemente-Suárez VJ. Periodized training achieves better autonomic modulation and aerobic performance than non-periodized training. J Sports Med Phys Fitness. 2018;58(11):1559-64.

128. Abt JP, Oliver JM, Nagai T, Sell TC, Lovalekar MT, Beals K, et al. Block-periodized training improves physiological and tactically relevant performance in naval special warfare operators. J Strength Cond Res. 2016;30(1):39-52.

129. Fyfe J, Bishop D, Stepto N. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: Molecular bases and the role of individual training variables. Sports Med. 2014;44(6):743-62.

130. Methenitis S. A brief review on concurrent training: from laboratory to the field. Sports. 2018;6(4),127.

131. González-Badillo JJ, Ribas J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza (3ª ed.). 3ª ed. INDE; 2018.

132. Baar K. Using molecular biology to maximize concurrent training. Sports Med. 2014;44(2):117-25.

133. Leveritt M, Abernethy PJ, Barry BK, Logan PA. Concurrent strength and endurance training. A review. Sports Med. 1999;28(6):413-27.

134. Schumann M, Rønnestad BR. Concurrent Aerobic and Strength Training: Scientific Basics and Practical Applications. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2019.

135. Sánchez Moreno M. Factores determinantes del rendimiento en el ejercicio de dominadas y efectos del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia [Tesis doctoral]. [Sevilla: Universidad Pablo de Olavide]; 2017. Disponible en: https://investiga.upo.es/documentos/5eb124aa29995246d441a55b

136. Schumann M, Feuerbacher JF, Sünkeler M, Freitag N, Rønnestad BR, Doma K, et al. Compatibility of concurrent aerobic and strength training for skeletal muscle size and function: An updated systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2022;52(3):601-612.

137. Fyfe J, Loenneke J. Interpreting adaptation to concurrent compared with single-mode exercise training: Some methodological considerations. Sports Med. 2018;48(2):289-97.

138. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining syndrome. Sports Health. 2012;4(2):128-38.

139. Smith LL. Overtraining, excessive exercise, and altered immunity: is this a T helper-1 versus T helper-2 lymphocyte response? Sports Med. 2003;33(5):347-64.

140. Smith LL. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? Med Sci Sports Exerc. 2000;32(2):317-31.

141. Halson SL, Jeukendrup AE. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. Sports Med. 2004;34(14):967-81.

142. Lehmann M, Foster C, Keul J. Overtraining in endurance athletes: a brief review. Med Sci Sports Exerc. 1993;25(7):854-62.

143. Urhausen A, Kindermann W. Diagnosis of overtraining: what tools do we have? Sports Med. 2002;32(2):95-102.

144. Hiscock N, Pedersen BK. Exercise-induced immunodepression- plasma glutamine is not the link. J Appl Physiol Bethesda Md 1985. 2002;93(3):813-22.

145. Snyder AC, Kuipers H, Cheng B, Servais R, Fransen E. Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. Med Sci Sports Exerc. 1995;27(7):1063-70.

146. Budgett R, Hiscock N, Arida RM, Arida R, Castell LM. The effects of the 5-HT2C agonist m-chlorophenylpiperazine on elite athletes with unexplained underperformance syndrome (overtraining). Br J Sports Med. 2010;44(4):280-3.

147. Tanskanen M, Atalay M, Uusitalo A. Altered oxidative stress in overtrained athletes. J Sports Sci. 2010;28(3):309-17.

148. de Souza EO, Tricoli V, Aoki MS, Roschel H, Brum PC, Bacurau AVN, et al. Effects of concurrent strength and endurance training on genes related to myostatin signaling pathway and muscle fiber responses. J Strength Cond Res. 2014;28(11):3215-23.

149. Berryman N, Mujika I, Arvisais D, Roubeix M, Binet C, Bosquet L. Strength training for middle- and long-distance performance: A meta-analysis. Int J Sports Physiol Perform. 2018;13(1):57-64.

150. Armstrong LE, Bergeron MF, Lee EC, Mershon JE, Armstrong EM. Overtraining syndrome as a complex systems phenomenon. Front Netw Physiol. 2022;1:794392

151. Balagué N, Hristovski R, Almarcha M, Garcia-Retortillo S, Ivanov PC. Network physiology of exercise: Vision and perspectives. Front Physiol. 2020;11:611550

152. Robineau J, Babault N, Piscione J, Lacome M, Bigard AX. Specific Training effects of concurrent aerobic and strength exercises depend on recovery duration. J Strength Cond Res. 2016;30(3):672-83.

153. Lee MJC, Ballantyne JK, Chagolla J, Hopkins WG, Fyfe JJ, Phillips SM, et al. Order of same-day concurrent training influences some indices of power development, but not strength, lean mass, or aerobic fitness in healthy, moderately-active men after 9 weeks of training. PloS One. 2020;15(5):e0233134.

154. Mikkola J, Rusko H, Izquierdo M, Gorostiaga E m., Häkkinen K. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. Int J Sports Med. 2012;33(9):702-10.

155. Cantrell GS, Schilling BK, Paquette MR, Murlasits Z. Maximal strength, power, and aerobic endurance adaptations to concurrent strength and sprint interval training. Eur J Appl Physiol. 2014;114(4):763-71.

156. Fyfe JJ, Bartlett JD, Hanson ED, Stepto NK, Bishop DJ. Endurance training intensity does not mediate interference to maximal lower-body strength gain during short-term concurrent training. Front Physiol. 2016;3(7):487.

157. Wong P lam, Chaouachi A, Chamari K, Dellal A, Wisloff U. Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players. J Strength Cond Res. 2010;24(3):653-60.

158. Tanskanen MM, Uusitalo AL, Kinnunen H, Häkkinen K, Kyröläinen H, Atalay M. Association of military training with oxidative stress and overreaching. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(8):1552-60.

159. Ross JA, Heebner NR. No pain, no gain: The military overtraining hypothesis of musculoskeletal stress and injury. Physiother Theory Pract. 2023;39(11):2289-99.

160. Vrijkotte S, Roelands B, Pattyn N, Meeusen R. The overtraining syndrome in soldiers: Insights from the sports domain. Mil Med. 2019;184(5-6):e192-200.

161. Chicharro JL, López-Mojares LM, Lucía A, Pérez M, Alvarez J, Labanda P, et al. Overtraining parameters in special military units. Aviat Space Environ Med. 1998;69(6):562-8.

162. McGuine T. Sports injuries in high school athletes: a review of injury-risk and injury-prevention research. Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med. 2006;16(6):488-99.

163. Paterno MV, Taylor-Haas JA, Myer GD, Hewett TE. Prevention of overuse sports injuries in the young athlete. Orthop Clin North Am. 2013;44(4):553-64.

164. Piirainen JM, Rautio T, Tanskanen-Tervo MM, Kyröläinen H, Huovinen J, Linnamo V. Effects of 10 weeks of military training on neuromuscular function in non-overreached and overreached conscripts. J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol. 2019;47:43-8.

165. Purvis D, Gonsalves S, Deuster PA. Physiological and psychological fatigue in extreme conditions: Overtraining and elite athletes. PM R. 2010;2(5):442-50.

166. Heilbronn B, Doma K, Sinclair W, Connor J, Irvine-Brown L, Leicht A. Acute fatigue responses to occupational training in military personnel: A systematic review and meta-analysis. Mil Med. 2023;188(5-6):969-77.

167. Merrigan JJ, Stone JD, Thompson AG, Hornsby WG, Hagen JA. Monitoring neuromuscular performance in military personnel. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(23):E9147.

168. Corrigan SL, Bulmer S, Roberts SSH, Warmington S, Drain J, Main LC. Monitoring responses to basic military training with heart rate variability. Med Sci Sports Exerc. 2022;54(9):1506-14.

169. Bustos D, Guedes JC, Vaz MP, Pombo E, Fernandes RJ, Costa JT, et al. Non-invasive physiological monitoring for physical exertion and fatigue assessment in military personnel: A systematic review. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(16):8815.

170. Koltun KJ, Bird MB, Forse JN, Nindl BC. Physiological biomarker monitoring during arduous military training: Maintaining readiness and performance. J Sci Med Sport. 2023;26(1):S64-70.

171. Welsh TT, Alemany JA, Montain SJ, Frykman PN, Tuckow AP, Young AJ, et al. Effects of intensified military field training on jumping performance. Int J Sports Med. 2008;29(1):45-52.

172. Nindl BC, Barnes BR, Alemany JA, Frykman PN, Shippee RL, Friedl KE. Physiological consequences of U.S. Army Ranger training. Med Sci Sports Exerc. 2007;39(8):1380-7.

173. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM, Kraemer WJ. Estimation of human power output from vertical jump: J Strength Cond Res. 1991;5(3):116-20.

174. Stone M, O'Bryant H, Hornsby G, Cunanan A, Mizuguchi S, Suarez D, et al. Using the isometric mid-thigh pull in the monitoring of weighlifters: 25 years of experience. Prof Strength Cond. 2019; Disponible en: https://www.uksca.org.uk/uksca-iq/article/1890/screening.

175. Comfort P, Dos'Santos T, Beckham GK, Stone MH, Guppy SN, Haff GG. Standardization and methodological considerations for the isometric midthigh pull. Strength Cond J. 2019;41(2):57.

176. Wang R, Hoffman JR, Tanigawa S, Miramonti AA, La Monica MB, Beyer KS, et al. Isometric mid-thigh pull correlates with strength, sprint, and agility

performance in collegiate rugby union players. J Strength Cond Res. 2016;30(11):3051-6.

177. Norman K, Stobäus N, Gonzalez MC, Schulzke JD, Pirlich M. Hand grip strength: Outcome predictor and marker of nutritional status. Clin Nutr Edinb Scotl. 2011;30(2):135-42.

178. Bobos P, Nazari G, Lu Z, MacDermid JC. Measurement properties of the hand grip strength assessment: A systematic review with meta-analysis. Arch Phys Med Rehabil. 2020;101(3):553-65.

179. Wang CY, Chen LY. Grip strength in older adults: Test-retest reliability and cutoff for subjective weakness of using the hands in heavy tasks. Arch Phys Med Rehabil. 2010;91(11):1747-51.

180. Knapik JJ, Johnson RF, Ang P, Meiselman HL, Bensel CK, Johnson W, et al. Road march performance of special operations soldiers carrying various loads and load distributions. Natick (MA): US Army Research Institute of Environmental Medicine; 1993. Technical report: T14-93.

181. Harper W, Knapik J, de Pontbriand R. An investigation of female load carriage capability. Aberdeen Proving Ground (MD): US Army Research Laboratory; 1997. Technical report: ARL-TR-1176.

182. Dean CE. The modern warrior's combat load - Dismounted operations in Afghanistan: 356: 1:35 PM - 1:50 PM. Med Sci Sports Exerc. 2008;40(5):60.

183. Boffey D, Harat I, Gepner Y, Frosti CL, Funk S, Hoffman JR. The physiology and biomechanics of load carriage performance. Mil Med. 2019;184(1-2):e83-90.

184. Faghy MA, Shei RJ, Armstrong NCD, White M, Lomax M. Physiological impact of load carriage exercise: Current understanding and future research directions. Physiol Rep. 2022;10(21):e15502.

185. Borghols EA, Dresen MH, Hollander AP. Influence of heavy weight carrying on the cardiorespiratory system during exercise. Eur J Appl Physiol. 1978;38(3):161-9.

186. Hadid A, Belzer N, Shabshin N, Epstein Y, Gefen A. Deformations in the shoulder tissues during load carriage: A computational model. J Strength Cond Res. 2015;29(11):S144-148.

187. Coast JR, Clifford PS, Henrich TW, Stray-Gundersen J, Johnson RL. Maximal inspiratory pressure following maximal exercise in trained and untrained subjects. Med Sci Sports Exerc. 1990;22(6):811-5.

188. Liew B, Morris S, Netto K. The effect of backpack carriage on the biomechanics of walking: A systematic review and preliminary meta-analysis. J Appl Biomech. 2016;32(6):614-29.

189. Jones BH, Canham-Chervak M, Canada S, Mitchener TA, Moore S. Medical surveillance of injuries in the U.S. Military descriptive epidemiology and recommendations for improvement. Am J Prev Med. 2010;38(1):S42-60.

190. Bahr R. No injuries, but plenty of pain? On the methodology for recording overuse symptoms in sports. Br J Sports Med. 2009;43(13):966-72.

191. Grier T, Canham-Chervak M, McNulty V, Jones BH. Extreme conditioning programs and injury risk in a US Army Brigade Combat Team. US Army Med Dep J. 2013;36-47.

192. Bell NS, Mangione TW, Hemenway D, Amoroso PJ, Jones BH. High injury rates among female army trainees: a function of gender? Am J Prev Med. 2000;18(3):141-6.

193. Knapik J, Bahrke M, Staab J, Reynolds K, Vogel J. 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: T13-90.

194. Grenier JG, Millet GY, Peyrot N, Samozino P, Oullion R, Messonnier L, et al. Effects of extreme-duration heavy load carriage on neuromuscular function and locomotion: a military-based study. PloS One. 2012;7(8):e43586.

195. Polcyn AF, Bessel CK, Harman EA, Obusek JP. The Effects of Load Weight: A summary analysis of maximal performance, physiological, and biomechanical results from four studies of load-carriage systems. Natick (MA): US Army Research Institute of Environmental Medicine; 2001. Technical report: ADP010993.

196. Harman EA, Gutekunst DJ, Frykman PN, Nindl BC, Alemany JA, Mello RP, et al. Effects of two different eight-week training programs on military physical performance. J Strength Cond Res. 2008;22(2):524-34.

197. Hendrickson NR, Sharp MA, Alemany JA, Walker LA, Harman EA, Spiering BA, et al. Combined resistance and endurance training improves physical capacity and performance on tactical occupational tasks. Eur J Appl Physiol. 2010;109(6):1197-208.

198. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. JAMA. 2013;310(20):2191-4.

199. Grgic J, Scapec B, Mikulic P, Pedisic Z. Test-retest reliability of isometric mid-thigh pull maximum strength assessment: A systematic review. Biol Sport. 2022;39(2):407-14.

200. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. J Strength Cond Res. 2004;18(3):551-5.

201. Hébert-Losier K, Beaven CM. The MARS for squat, countermovement, and standing long jump performance analyses: Are measures reproducible? J Strength Cond Res. 2014;28(7):1849-57.

202. Micklewright D, St Clair Gibson A, Gladwell V, Al Salman A. Development and validity of the rating-of-fatigue scale. Sports Med. 2017;47(11):2375-93.

203. Sanchez-Moreno M, Pareja-Blanco F, Diaz-Cueli D, González-Badillo JJ. Determinant factors of pull-up performance in trained athletes. J Sports Med Phys Fitness. 2016;56(7-8):825-33.

204. Vanderburgh PM, Edmonds T. The Effect of experimental alterations in excess mass on pull-up performance in fit young men. J Strength Cond Res. 1997;11(4):230-3.

205. Canino MC, Foulis SA, Zambraski EJ, Cohen BS, Redmond JE, Hauret KG, et al. U.S. Army physical demands study: Differences in physical fitness and occupational task performance between trainees and active-duty soldiers. J Strength Cond Res. 2019;33(7):1864-70.

206. Batterham AM, Hopkins WG. Making meaningful inferences about magnitudes. Int J Sports Physiol Perform. 2006;1(1):50-7.

207. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2.ª ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum; 1988. 567 p.

208. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. Med Sci Sports Exerc. 2009;41(1):3-13.

209. Tornero-Aguilera JF, Robles-Pérez JJ, Clemente-Suárez VJ. Effect of combat stress in the psychophysiological response of elite and non-elite soldiers. J Med Syst. 2017;41(6):100.

210. Ojanen T, Kyröläinen H, Igendia M, Häkkinen K. Effect of prolonged military field training on neuromuscular and hormonal responses and shooting performance in warfighters. Mil Med. 2018;183(11-12):e705-12.

211. Clemente-Suárez VJ, Robles-Pérez JJ, Fernández-Lucas J. Psycho-physiological response in an automatic parachute jump. J Sports Sci. 2017;35(19):1872-8.

212. Clemente-Suarez VJ, Palomera PR, Robles-Pérez JJ. Psychophysiological response to acute-high-stress combat situations in professional soldiers. Stress Health J Int Soc Investig Stress. 2018;34(2):247-52.

213. Barr AE, Barbe MF. Pathophysiological tissue changes associated with repetitive movement: A review of the evidence. Phys Ther. 2002;82(2):173-87.

214. Barbe MF, Gallagher S, Massicotte VS, Tytell M, Popoff SN, Barr-Gillespie AE. The interaction of force and repetition on musculoskeletal and neural tissue responses and sensorimotor behavior in a rat model of work-related musculoskeletal disorders. BMC Musculoskelet Disord. 2013;14(1):303.

215. Barbe MF, Gallagher S, Popoff SN. Serum biomarkers as predictors of stage of work-related musculoskeletal disorders. JAAOS - J Am Acad Orthop Surg. 2013;21(10):644.

216. Knapik J, Staab J, Bahrke M, Reynolds K, Vogel J, O'Connor J. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. Mil Med. 1991;156(4):197-200.

217. Lepers R, Pousson ML, Maffiuletti NA, Martin A, Van Hoecke J. The effects of a prolonged running exercise on strength characteristics. Int J Sports Med. 2000;21(4):275-80.

218. Mero A, Komi PV. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. Eur J Appl Physiol. 1986;55(5):553-61.

219. Váczi M, Rácz L, Hortobágyi T, Tihanyi J. Dynamic contractility and efficiency impairments in stretch-shortening cycle are stretch-load-dependent after training-induced muscle damage. J Strength Cond Res. 2013;27(8):2171-9.

220. Komi PV. Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. J Biomech. 2000;33(10):1197-206.

221. Dousset E, Avela J, Ishikawa M, Kallio J, Kuitunen S, Kyröläinen H, et al. Bimodal recovery pattern in human skeletal muscle induced by exhaustive stretch-shortening cycle exercise. Med Sci Sports Exerc. 2007;39(3):453-60.

222. Rousanoglou EN, Noutsos K, Pappas A, Bogdanis G, Vagenas G, Bayios IA, et al. Alterations of vertical jump mechanics after a half-marathon mountain running race. J Sports Sci Med. 2016;15(2):277-86.

223. Hein JL, Sesno NN, Armenta RF, Nessler JA, Asakawa DS. Upper limb manual dexterity, strength and blood flow after walking with backpack load. Appl Ergon. 2021;97:103505.

224. Knapik J, Daniels W, Murphy M, Fitzgerald P, Drews F, Vogel J. Physiological factors in infantry operations. Eur J Appl Physiol. 1990;60(3):233-8.

225. Patton JF, Vogel JA, Damokosh AI, Mello RP. Effects of continuous military operations on physical fitness capacity and physical performance. Work Stress. 1989;3(1):69-77.

226. Bessen RJ, Belcher VW, Franklin RJ. Rucksack paralysis with and without rucksack frames. Mil Med. 1987;152(7):372-5.

227. Wilson WJ. Brachial plexus palsy in basic trainees. Mil Med. 1987;152(10):519-22.

228. Parkinson AO, Apps CL, Morris JG, Barnett CT, Lewis MGC. The calculation, thresholds and reporting of inter-limb strength asymmetry: A systematic review. J Sports Sci Med. 2021;20(4):594-617.

229. MacDonald GZ, Mazara N, Herzog W, Power GA. Mitigating the bilateral deficit: Reducing neural deficits through residual force enhancement and activation reduction. Eur J Appl Physiol. 2018;118(9):1911-9.

230. Grandou C, Wallace L, Fullagar HHK, Duffield R, Burley S. The effects of sleep loss on military physical performance. Sports Med. 2019;49(8):1159-72.

231. Orr R, Pope R, Lopes TJA, Leyk D, Blacker S, Bustillo-Aguirre BS, et al. Soldier load carriage, injuries, rehabilitation and physical conditioning: An international approach. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(8):4010.

232. Knapik JJ, Harman EA, Steelman RA, Graham BS. A systematic review of the effects of physical training on load carriage performance. J Strength Cond Res. 2012;26(2):585-97.

233. Cáceres-Diego B, Marín-Pagán C, Martínez de Baños P, Alcaraz PE. Effects of a 30 K military loaded carriage on the neuromuscular system in spanish army marines. Sports. 2025;13(3):76.

234. Hogan KA, Gross RH. Overuse injuries in pediatric athletes. Orthop Clin North Am. 2003;34(3):405-15.

235. Pihlainen K, Santtila M, Häkkinen K, Lindholm H, Kyröläinen H. Cardiorespiratory responses induced by various military field tasks. Mil Med. 2014;179(2):218-24.

236. Rayson M, Holliman D, Belyavin A. Development of physical selection procedures for the British Army. Phase 2: relationship between physical performance tests and criterion tasks. Ergonomics. 2000;43(1):73-105.

237. Majumdar D, Pal MS, Majumdar D. Effects of military load carriage on kinematics of gait. Ergonomics. 2010;53(6):782-91.

238. Beneke R, Leithäuser RM, Ochentel O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. Int J Sports Physiol Perform. 2011;6(1):8-24.

239. Leyk D, Gorges W, Ridder D, Wunderlich M, Rüther T, Sievert A, et al. Hand-grip strength of young men, women and highly trained female athletes. Eur J Appl Physiol. 2007;99(4):415-21.

240. Clemente-Suárez VJ, Robles-Pérez JJ. Mechanical, physical, and physiological analysis of symmetrical and asymmetrical combat. J Strength Cond Res. 2013;27(9):2420-6.

241. Hewett TE, Paterno MV, Myer GD. Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. Clin Orthop. 2002;(402):76-94.

242. Radin EL. Role of muscles in protecting athletes from injury. Acta Med Scand Suppl. 1986;711:143-7.

243. James CR, Dufek JS, Bates BT. Effects of injury proneness and task difficulty on joint kinetic variability. Med Sci Sports Exerc. 2000;32(11):1833-44.

244. García-Pinillos F, Soto-Hermoso VM, Latorre-Román PA. Acute Effects of extended interval training on countermovement jump and handgrip strength performance in endurance athletes: Postactivation potentiation. J Strength Cond Res. 2015;29(1):11.

245. Boullosa DA, Tuimil JL, Alegre LM, Iglesias E, Lusquiños F. Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. Int J Sports Physiol Perform. 2011;6(1):82-93.

246. Vogt M, Hoppeler HH. Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. J Appl Physiol Bethesda Md 1985. 2014;116(11):1446-54.

247. Li F, Newton RU, Shi Y, Sutton D, Ding H. Correlation of eccentric strength, reactive strength, and leg stiffness with running economy in well-trained distance runners. J Strength Cond Res. 2021;35(6):1491-9.

248. Luhtanen P, Komi PV. Force-, power-, and elasticity-velocity relationships in walking, running, and jumping. Eur J Appl Physiol. 1980;44(3):279-89.

249. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the «crossover» concept. J Appl Physiol Bethesda Md 1985. 1994;76(6):2253-61.

250. Legg SJ, Patton JF. Effects of sustained manual work and partial sleep deprivation on muscular strength and endurance. Eur J Appl Physiol. 1987;56(1):64-8.

251. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. Sports Med. 2011;41(1):17-38.

252. Burdukiewicz A, Pietraszewska J, Andrzejewska J, Chromik K, Stachoń A. Asymmetry of musculature and hand grip strength in bodybuilders and martial artists. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(13):4695.

253. de Visser EJ, Dorfman A, Chartrand D, Lamon J, Freedy E, Weltman G. Building resilience with the stress resilience training system: Design validation and applications. Work Read Mass. 2016;54(2):351-66.

254. Cáceres-Diego B, Alcaraz PE, Marín-Pagán C. Neuromuscular responses to 5 k time trial load carried by spanish army marines. Sports. 2025;13(4):129.

255. Tait JL, Drain JR, Corrigan SL, Drake JM, Main LC. Impact of military training stress on hormone response and recovery. PloS One. 2022;17(3):e0265121.

256. Jensen AE, Bernards JR, Jameson JT, Johnson DC, Kelly KR. The benefit of mental skills training on performance and stress response in military personnel. Front Psychol. 2019;10:2964.

257. Thomas ML, Russo MB. Neurocognitive monitors: toward the prevention of cognitive performance decrements and catastrophic failures in the operational environment. Aviat Space Environ Med. 2007;78(5):B144-152.

258. Taylor MK, Sausen KP, Mujica-Parodi LR, Potterat EG, Yanagi MA, Kim H. Neurophysiologic methods to measure stress during survival, evasion, resistance, and escape training. Aviat Space Environ Med. 2007;78(5):B224-230.

259. Passi T, Lukander K, Laarni J, Närväinen J, Rissanen J, Vaara JP, et al. Effects of overnight military training and acute battle stress on the cognitive performance of soldiers in simulated urban combat. Front Psychol. 2022;13:925157.

260. Kettunen O, Kyröläinen H, Santtila M, Vuorimaa T, Vasankari TJ. Greater levels of cardiorespiratory and muscular fitness are associated with low stress and high mental resources in normal but not overweight men. BMC Public Health. 2016;16:788.

261. Conkright WR, Beckner ME, Sinnott AM, Eagle SR, Martin BJ, Lagoy AD, et al. Neuromuscular performance and hormonal responses to military operational stress in men and women. J Strength Cond Res. 2021;35(5):1296-305.

262. Beckner ME, Conkright WR, Eagle SR, Martin BJ, Sinnott AM, LaGoy AD, et al. Impact of simulated military operational stress on executive function relative to trait resilience, aerobic fitness, and neuroendocrine biomarkers. Physiol Behav. 2021;236:113413.

263. Szivak TK, Lee EC, Saenz C, Flanagan SD, Focht BC, Volek JS, et al. Adrenal stress and physical performance during military survival training. Aerosp Med Hum Perform. 2018;89(2):99-107.

264. Taylor MK, Markham AE, Reis JP, Padilla GA, Potterat EG, Drummond SPA, et al. Physical fitness influences stress reactions to extreme military training. Mil Med. 2008;173(8):738-42.

265. Heilbronn BE, Doma K, Gormann D, Schumann M, Sinclair WH. Effects of Periodized vs. Nonperiodized Resistance Training on Army-Specific Fitness and Skills Performance. J Strength Cond Res. 2020;34(3):738-53.

266. Rosendal L, Langberg H, Skov-Jensen A, Kjaer M. Incidence of injury and physical performance adaptations during military training. Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med. 2003;13(3):157-63.

267. Nikolaidis PT, Papaioannou KG, Rosemann T, Knechtle B. Exercise testing of muscle strength in military. Mil Med. 2019;184(9-10):e426-30.

268. McNair DM, Lorr M, Droppleman LF. Manual for the profile of mood states. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Services; 1971.

269. Kellmann M, Kallus KW. Der Erholungs-Belastungsfragebogen für Sportler (EBF-Sport)—Manual [Recovery-Stress Questionnaire for Athletes — Manual]. Frankfurt: Swets Test Service; 2000.

270. McDonald DG, Norton JP, Hodgdon JA. Training success in U.S. Navy special forces. Aviat Space Environ Med. 1990;61(6):548-54.

271. McNair, DM, Lorr M, Droppleman LF. Revised manual for the profile of mood states. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Services; 1992.

272. Sheppard JM, Chapman D, Taylor KL. An evaluation of a strength qualities assessment method for the lower body. J Aust Strength Cond. 2011;19:4-10.

273. Mayhew JL, Ball TE, Arnold MD, Bowen JC. Push-ups as a measure of upper body strength. J Strength Cond Res. 1991;5(1):16.

274. Knapik JJ, Sharp MA, Darakjy S, Jones SB, Hauret KG, Jones BH. Temporal changes in the physical fitness of US Army recruits. Sports Med. 2006;36(7):613-34.

275. Aandstad A. Temporal changes in physical fitness in norwegian male and female military conscripts between 2006 and 2020. Scand J Med Sci Sports. 2023;33(1):36-46.

276. Andrade Fernández E, Arce Fernández C, Seoane Pesqueira G. Adaptación al español del cuestionario «perfil de los estados de ánimo» en una muestra de deportistas. Psicothema. 2002;14(4):708-13.

277. Arce C, Andrade EM, Seoane G. Problemas semánticos en la adaptación del POMS al castellano. Psicothema. 2000;12:S47-S51.

278. Balaguer Solá I, Fuentes I, Meliá Navarro JL, García Merita ML, Pérez Recio G. El perfil de los estados de ánimo (POMS): Baremo para estudiantes valencianos y su aplicación en el contexto deportivo. Rev Psicol Deporte. 1993;2(2):39-52.

279. González-Boto R, Salguero A, Tuero C, Márquez S, Kellmann M, González-Boto R, et al. Spanish adaptation and analysis by structural equation modeling of an instrument for monitoring overtraining: The recovery-stress questionnaire (RESTQ-sport). Soc Behav Personal. 2008;36(5):635-49.

280. Kellmann M, Kallus KW. The recovery-stress questionnaire for athletes. En Kallus KW, Kellmann M, Eds. The recovery-stress questionnaires: User manual. Frankfurt, Germany: Pearson. 2016; 86–131.

281. Cronbach LJ. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika. 1951;16(3):297-334.

282. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. Sports Med. 2000;30(1):1-15.

283. González Boto R, Salguero del Valle A, Tuero del Prado C, Márquez S. Validez concurrente de la versión española del cuestionario de recuperación-estrés para deportistas (RESTQ-Sport). Rev Psicol Deporte. 2009;18(1):53-72.

284. Reynoso-Sánchez LF, Pérez-Verduzco G, Celestino-Sánchez MÁ, López-Walle JM, Zamarripa J, Rangel-Colmenero BR, et al. Competitive recovery-stress and mood states in mexican youth athletes. Front Psychol. 2020;11:627828.

285. Smith EN, Young MD, Crum AJ. Stress, mindsets, and success in Navy SEALs special warfare training. Front Psychol. 2019;10:2962.

286. Gibson N, Drain JR, Larsen P, Michael S, Groeller H, Sampson JA. A comprehensive analysis of injuries during army basic military training. Mil Med. 2024;189(3-4):652-60.

287. de Lira CAB, Morais NS, Menezes VA, Andrade MS, Vancini RL, Braz AG, et al. Identifying mood disorders and health-related quality of life of individuals submitted to mandatory military service. Acta Neuropsychiatr. 2021;33(1):9-14.

288. Gnacinski SL, Meyer BB, Wahl CA. Psychometric properties of the RESTQ-Sport-36 in a collegiate student-athlete population. Front Psychol. 2021;12:671919.

289. Flanagan SC, Kotwal RS, Forsten RD. Preparing soldiers for the stress of combat. J Spec Oper Med Peer Rev J SOF Med Prof. 2012;12(2):33-41.

290. Cáceres-Diego B, Alcaraz PE, Marín-Pagán C. Neuromuscular and psychological performance monitoring during one season in spanish marine corps. J Funct Morphol Kinesiol. 2025;10(3):324.

XV – ANEXOS

XV - ANEXOS

Anexo 1. Estudio 1 en formato original de publicación: Efectos de una marcha militar de endurecimiento con carga de 30 km sobre el sistema neuromuscular en Infantes de Marina del Ejército español.

Cáceres-Diego, B., Marín-Pagán, C., Martínez de Baños, P., & Alcaraz, P. E. (2025). Effects of a 30 K Military Loaded Carriage on the Neuromuscular System in Spanish Army Marines. Sports, 13(3), 76. https://doi.org/10.3390/sports13030076

sports

MDPI

Article

Effects of a 30 K Military Loaded Carriage on the Neuromuscular System in Spanish Army Marines

Beltrán Cáceres-Diego [1,*], Cristian Marín-Pagán [1,2], Pablo Martínez de Baños [3] and Pedro E. Alcaraz [1,2,4]

[1] UCAM Research Center for High Performance Sports, UCAM Universidad Católica de Murcia, 30107 Murcia, Spain; cmarin@ucam.edu (C.M.-P.); palcaraz@ucam.edu (P.E.A.)
[2] Strength and Conditioning Society, 30008 Murcia, Spain
[3] Department of Instruction and Training, Marine Infantry School "General Albacete y Fuster", 30201 Cartagena, Spain; pmarma9@mde.es
[4] Facultad de Deporte, UCAM Universidad Católica de Murcia, 30107 Murcia, Spain
* Correspondence: bcaceres@alu.ucam.edu; Tel.: +34-664-759-337

Abstract: Infantry soldiers must cover long distances carrying heavy and bulky combat equipment. Since the beginning of their training, Spanish Marines have undergone this characteristic and demanding test. However, little is known about its effects on neuromuscular function and recovery in the days following the test. Twenty-six Spanish Marines completed the test, three of whom suffered injuries and had to withdraw from the study, resulting in a final sample of twenty-three Marines. These participants underwent evaluations before (pre), immediately after (post), and 24 and 48 h post-exercise, following a 30 km endurance march carrying their 34 kg combat equipment. A repeated-measures ANOVA, paired-samples *t*-test, and effect size (ES) analysis were conducted; the results are presented as mean ± SD. The significance level was set at $p \leq 0.05$. The variables and *p*-values of changes over time are presented. Isometric mid-thigh pull (IMTP) ($p = 0.004$), countermovement jump (CMJ) ($p \leq 0.001$), rating of fatigue scale (ROF) ($p \leq 0.001$), maximum pull-ups in two minutes (PUmax) ($p \leq 0.001$), body mass (BM) ($p \leq 0.001$), hand grip strength (HGS): dominant ($p = 0.180$) and non-dominant ($p = 0.616$), and incident reports (IRPE) showed a significant increase over time and between the first 10 km and last 5 km in fatigue, muscle pain, joint pain, shortness of breath, excessive sweating ($p \leq 0.001$), and muscle tremors ($p = 0.028$), except for palpitations ($p = 0.189$). In conclusion, the results indicate that the test had a significant impact on neuromuscular function, with no recovery observed in overall strength and lower limb power after 48 h, even though their perceived fatigue decreased substantially. The resilient spirit of operational military units and their philosophy of always being ready for combat could increase the injury rate.

Keywords: load carriage; neuromuscular fatigue; performance; soldier; physical readiness and conditioning

check for updates

Academic Editor: David G. Behm

Received: 10 January 2025
Revised: 24 February 2025
Accepted: 26 February 2025
Published: 5 March 2025

Citation: Cáceres-Diego, B.; Marín-Pagán, C.; Martínez de Baños, P.; Alcaraz, P.E. Effects of a 30 K Military Loaded Carriage on the Neuromuscular System in Spanish Army Marines. *Sports* **2025**, *13*, 76. https://doi.org/10.3390/sports13030076

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

The mission of the Army is to ensure national defense by safeguarding its territory, protecting its citizens, and upholding constitutional order. To fulfill these duties, military personnel must undergo rigorous physical and mental preparation to guarantee success when the duty calls. In this preparation, military maneuvers or exercises play a central role, serving to teach and assess the skills of both the unit and its members. Specifically, infantry soldiers are characterized by covering long distances on foot (10–20 km) while carrying

bulky and heavy equipment (15–61 kg) [1–3], across rough terrain inaccessible to vehicles. The success of the mission or survival may depend on how quickly a soldier can move from one point to another while carrying personal combat gear, tactical equipment, and/or supplies [4]. For this reason, loaded marches are one of the primary tasks performed by military personnel during their training maneuvers, which place a high physical demand on them [5].

This physical demand is determined by the load carried, an individual's body mass, load distribution, movement speed, body armor, and the type of terrain [1,6,7]. Among these factors affecting performance in this task, particular attention is given to load distribution, the carried weight, and physical condition. For each kilogram of added load, military task performance decreases by 1–3% due to increased aerobic and muscular strength demands [6,8]. Positioning the load close to the soldier's center of mass, over the torso and shoulder girdle, results in the lowest energy expenditure [1]. Furthermore, poor physical condition can lead to the deformation of soft tissues [9,10], which impairs respiratory mechanics, imposes additional physiological stress, and alters movement biomechanics [11], all of which negatively affect work capacity [6,7]. This may affect neuromuscular function, influencing the interaction between the nervous system and muscles, potentially compromising the muscle's contractile capacity to generate force and move efficiently. This, in turn, impacts operational performance and subsequent recovery.

In this regard, musculoskeletal injuries are prevalent and appear to be associated with the demands encountered by military instruction, training, and preparation. These injuries are among the leading causes of attrition, reduced productivity, and suboptimal military readiness, resulting in significant economic and human costs due to medical care and the inability to perform tasks effectively [12]. Among the wide range of injuries prevalent in the Army, most are related to training, specifically due to overuse or excessive strain, indicating that soldiers are overtrained [13]. These injuries greatly impair military strength and operational capability and are defined as injuries that occur gradually as a result of high levels of mechanical stress without sufficient time for recovery, structural repair, and metabolic adaptation. They are caused by accumulated microtraumas resulting from repetitive and intense movement patterns [14,15], with significantly higher incidence rates among women [16].

Primarily for infantry soldiers, these types of military practices are often repeated over several consecutive days or conducted alongside other physically demanding military tasks, with little to no rest, in a stressful environment where sleeping and eating are challenging. Therefore, this characteristic military task, the loaded march, could impact the effectiveness of performing other duties in the following days due to its high physical demands. For this reason, analyzing these common practices to observe their impact on the body, as well as the recovery process in the subsequent days, is of great importance for both physical and military preparation.

Previous research on the physiological and biomechanical performance of military personnel during long-distance running while carrying a load, such as combat equipment, has demonstrated significant effects on muscle fatigue, energy expenditure, and injury risk [1,3,17]. Studies [6,18,19] have shown that carrying heavy loads during prolonged exertion alters running economy, increasing metabolic cost and reducing biomechanical efficiency due to changes in gait kinematics and impact mechanics—factors that may compromise operational performance and recovery, such as increased knee and hip flexion, forward trunk inclination, and a slight tendency to take fewer strides per unit of time as the carried load increases. However, there is a notable lack of studies that comprehensively analyze the combined effects of load, distance, and terrain on performance and physiological resilience in operational contexts. Most previous studies [20–22] have focused on shorter

distances or laboratory tests under controlled conditions, leaving a gap in understanding the impact of these demands in real-world deployment scenarios. This gap in the literature underscores the need for the present study, which aims to address these limitations through a more specific evaluation of physiological responses in longer-duration tests under operational conditions. In doing so, it seeks to provide key insights into the neuromuscular fatigue induced by such exertion and the subsequent recovery process, ultimately contributing to the optimization of military training and preparedness. Data collected in this research could help optimize training loads to promote recovery and consolidate physiological adaptations after assessing the march's impact. Additionally, it could aid in designing strategies to improve performance and recovery after the march, as it is a mandatory test in the training and instruction program of the Spanish Marine Infantry. Therefore, the objective of this study was to analyze and describe the neuromuscular fatigue caused by a 30 km conditioning military march with combat gear, as well as the recovery process.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

A descriptive repeated-measures study was conducted on a 30 km conditioning march with 34 kg of combat logistical gear over a 5 km circuit with elevation changes, initially involving 26 military personnel. Evaluations were conducted pre-march, post-march, 24 h post-march, and 48 h post-march. The total distance traveled and elevation gain, along with other variables, were quantified using identical smart sports watches equipped with global positioning system (GPS) technology. The collected data were expressed as mean ± SD. The logistical combat gear weighed 34 kg and consisted of a 48–72 h survival backpack, helmet, rifle, boots, and a MOLLE system plate carrier with included magazine pouches. After familiarization with performance tests and 24 h of rest from vigorous exercise, participants performed a general warm-up followed by a specific warm-up, after which baseline data (pre-training) were collected, including age, height, and body mass (BM). The activity or test conducted was an official maneuver organized by the military academy, with its planning and workload specifically adjusted for the execution on that day. This approach ensured that the soldiers were optimally prepared and mentally committed to achieving peak performance, as the test was an official, graded component of the academy's program, rather than an additional external evaluation. Additionally, the following performance tests were conducted in the specified order, with 3–5 min of rest between each: countermovement jump (CMJ), isometric mid-thigh pull (IMTP), hand grip strength (HGS), rate of perceived exertion scale (ROF), and a maximum pull-up test in 2 min (PUmax). After the 30 km march with combat gear, data collection, and performance tests were repeated post-march to assess acute fatigue induced by the activity. Subsequent evaluations were conducted at 24 and 48 h post-march to observe residual fatigue. Finally, an incident report was completed at the end of the test.

2.2. Participants

The initial sample consisted of 26 male military personnel from the Spanish Army Marine Infantry School. During the march, three participants sustained injuries related to knee and lower back issues and had to withdraw, resulting in a final sample of 23 participants (age: 28.4 ± 5.0 years; height: 176.2 ± 5.8 cm; body mass: 80.0 ± 7.8 kg). The inclusion criteria were as follows: (a) being active military personnel, (b) belonging to the CAES (Access Course to the Non-Commissioned Officer Scale) of the Marine Infantry Corps, and (c) not suffering from any disease, injury, or deficiency of any kind. The exclusion criteria were as follows: (a) having a diagnosed illness, injury, or deficiency that could affect physical performance during the study, (b) undergoing pharmacological treatment that

could influence physical performance, (c) failing to complete all phases and protocols of the study, and (d) voluntarily expressing the desire to withdraw from the study at any time. The sample consisted exclusively of men, as no women were present in the CAES at the time of the study. Before the study began, participants were informed of the details of the intervention and signed an informed consent document in accordance with the Declaration of Helsinki [23]. All procedures were approved by the Ethics Committee of the Catholic University of Murcia, UCAM (28 October 2022, CE102202). The participants were recruited through a collaboration agreement between the Ministry of Defense of the Kingdom of Spain and UCAM (BOE-A-2022-12703).

2.3. Procedures

Warm-up. The warm-up performed by participants before each data collection consisted of the following: (a) joint mobility exercises, with 1 set of 10 repetitions for each of the following exercises: shoulder rotations, trunk rotations, hip twists, and standing knee flexions forward; (b) dynamic stretches, with 1 set of 10 repetitions for each of the following exercises: standing hip flexion–extension reaching toward ground, standing hamstring stretch lifting leg to horizontal and touching toe with hand; (c) metabolic exercises, with 1 set of 8–20 repetitions for each of the following exercises: jumping jacks, skipping, lunges, and burpees; and (d) a specific exercise, the straight bar deadlift: set 1 (4 × 20 kg), set 2 (6 × 40 kg), and set 3 (4 × 60 kg) with 1–2 min of rest between sets.

Maximum Isometric Leg and Back Strength. The isometric mid-thigh pull (IMTP) is a valid and reliable test for assessing an individual's overall maximum strength [24]. Participants performed the test on a Smith machine placed on a portable force platform (Kistler 9286BA, Kistler Group, Winterthur, Switzerland). The barbell was fixed and adjusted to ensure an equal distance between the greater trochanter and the lateral epicondyle of both knees. Participants first completed a submaximal practice trial, which lasted between 3 and 5 s. Subsequently, participants performed 2 maximal repetitions, each lasting between 3 and 5 s, with 20 s of rest between repetitions. The best result was used for analysis.

Countermovement jump (CMJ). The CMJ is the most validated, reliable, and widely used test for estimating lower-limb power strength [25]. The CMJ was performed on a portable force platform capable of performing stabilometric analysis via the center of pressure oscillations using four piezoelectric sensors, located at each end of the platform, with a range of 400–600 mm. The sampling frequency was 1000 Hz, allowing for the recording of displacement and contact time between the foot and the platform surface to be recorded. Data were recorded and analyzed using Kistler's measurement, analysis, and reporting software (MARS, 2012 S2P Ltd., Ljubljana, Slovenia), because most of the squat parameters and data obtained from MARS are consistent, reliable, and suitable for monitoring individuals as well as for quantifying variations in performance [26]. Raw data were exported, and maximum vertical jump height from take-off (VJ) [cm], peak power (PP) [W], peak eccentric force (PEcc), concentric force (PCon) [N], and rate of force development in the eccentric (RFDEcc) and concentric phases (RFDCon) [N/s], were calculated using Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, DC, USA). The depth of countermovement was self-selected by participants, who were instructed to land close to the take-off point. Participants performed two jumps with a 60 s rest between them, and the best jump was selected based on the maximum height achieved.

Rating of fatigue scale (ROF). Athletes were asked to rate their perceived level of fatigue after completing the test using a numerical scale from 0 to 10, where 0 represents a state of rest, and 10 represents maximal effort [27]. This numerical value was used to define fatigue or the subjective effort experienced by the individual following exertion.

Maximal pull-ups in 2 min (PUmax). This test, used to measure muscular strength and/or endurance in military personnel [5,28], involved lifting one's own body mass as many times as possible, with the chin clearing a horizontal bar. The bar was gripped in a pronated position with a width equal to or slightly greater than shoulder width. The starting position was hanging from the bar with elbows extended and feet off the ground, and the final position required the elbows to be bent, and the body to be elevated until the chin was above the bar with the Adam's apple passing the top of the bar [29,30]. The test concluded either upon reaching exhaustion or after 2 min, during which the participant had to always maintain a grip on the bar without dropping or resting on any surface. Participants were informed that incorrectly performed repetitions with poor technique would not be counted, and a brief pause of less than 10 s was permitted. The maximum number of correctly executed repetitions was recorded for analysis.

Hand grip strength (HGS). HGS is an essential test for assessing performance in manual lifting and carrying tasks [31]. To measure hand grip strength, a Camry digital hand dynamometer (model EH101, Zhongshan Camry Electronic Co., Ltd., China) was used. The shoulder of the testing arm was kept close to the side with the elbow at 90° and the grip in a neutral position. Two repetitions were performed for each hand, dominant (DHGS) and non-dominant (NDHGS), applying maximal force for 3 s with a 60 s rest between repetitions. The best attempt was used for the analysis.

Incident Reports and Perceived Effort (IRPE) during the test. Incidences, discomfort, symptoms, and perceived effort during the test were recorded for each participant using a report form. Participants noted their subjective feelings of fatigue, muscle pain, joint pain, shortness of breath, palpitations, excessive sweating, and muscle tremors on a scale with four ranges (0: none, 30: slight, 60: moderate, and 90: severe) at various segments of the test (0–10 km, 10–15 km, 15–20 km, 20–25 km, and 25–30 km), as well as in a section for observations where they recorded any issues encountered upon completing the 30 km test.

2.4. Statistical Analyses

Statistical analysis was conducted using Jamovi software version 1.6 (The Jamovi Project, Sydney, Australia). Inferences were calculated based on the magnitude of fluctuations in performance variables pre-test, post-test, 24 h post-test, and 48 h post-test, and were presented as standardized mean differences (mean ± standard deviation, SD) [32]. The normality of the data was assessed, confirming that all analyzed variables met the established criteria. The Shapiro–Wilk test was applied for this purpose, considering both the *p*-value and the W statistic. To evaluate results over time, a repeated-measures analysis of variance (Repeated Measures ANOVA) was performed with multiple comparisons between different time points. Subsequently, each studied variable was compared across different time points of evaluation using a paired-sample *t*-test. The significance level was set at $p \leq 0.05$. Effect size (ES) was calculated using Cohen's d [33] by comparing pre-post, pre-24 h post, and pre-48 h post variables. This helped determine the level of significance of the effect for each studied variable, reflecting significant differences in the same variable between different time points. Thus, effect size (ES) was interpreted using Cohen's d as follows: trivial (<0.2), small (≥0.2–<0.6), moderate (≥0.6–<1.2), large (≥1.2–<2.0), very large (≥2.0–<4.0), and extremely large (≥4.0) [34]. In summary, the recommendations on the use of statistics in sports medicine and exercise sciences were followed [34].

3. Results

Regarding march characteristics collected by similar smart sports watches from 12 participants, data are presented as mean ± SD. However, the total distance of the test was initially measured by the supervising and command team to ensure accuracy. The total

distance was 29.98 ± 0.34 km. The total time was 327.67 ± 17.37 min and 34.58 ± 17.17 s. The average pace was 10.95 ± 0.5 min/km. The total estimated calories recorded were 2382.0 ± 301.83 kcal, calculated based on the individual's anthropometric characteristics, physical condition, and the activity performed, such as age, height, body mass, sex, type of activity, duration, intensity, and heart rate during the test. Average heart rate was 131.75 ± 10.59 bpm, with peak values reaching 173.25 ± 11.63 bpm. The average temperature during the test was 21.4 ± 2.56 °C, with maximum temperatures of 24.2 ± 2.18 °C. Total ascent was 628.25 ± 426.47 m, and total descent was 859.75 ± 752.93 m. The average speed was 5.51 ± 0.28 km/h, with maximum speeds reaching 11.52 ± 2.21 km/h. The total time for 23 participants who completed the test was 340.36 ± 17.70 min.

The results for performance variables are presented in Table A1 (see Appendix A.1). Peak absolute vertical strength, measured by the isometric mid-thigh pull (IMTP) test, showed a significant decrease over time ($p = 0.004$) (see Figure A1, Appendix A.2). There were no significant changes (0.98%) post-test compared to pre-test values, but there was a significant decrease ($p = 0.037$) at 24 h post-test (−5.7%) and at 48 h post-test (−4.8%) compared to pre-test values ($p = 0.005$).

Regarding countermovement jump (CMJ) variables, a significant decrease over time was found in vertical jump height (VJ) ($p < 0.001$), peak power (PP) ($p < 0.001$), concentric rate of force development (RFDCon) ($p = 0.033$), and peak eccentric force (PEcc) ($p = 0.012$). However, there were no significant changes in peak concentric force (PCon) ($p = 0.190$) or in the eccentric rate of force development (RFDEcc) ($p = 0.487$). The evolution of changes at different time points varied across CMJ variables: VJ showed a very pronounced decrease pre-post (−13.7%), with similar decreases 24 h post (−11.5%) and 48 h post (−14.0%) compared to pre-test values (see Figure A2, Appendix A.3). PP exhibited no significant change pre-post (−1.0%), but there was a significant decrease pre-24 h (−8.6%) and pre-48 h (−9.1%). RFDCon showed no significant changes pre-post (6.5%), with a substantial decrease of (−46.0%) at 24 h and (−12.0%) at 48 h compared to pre-test values. PEcc highlighted a decrease (−6.9%) pre-post, with a quick recovery (−0.4%) pre-24 h, and even an increase (0.4%) pre-48 h. PCon showed no significant changes (1.7%) pre-post, with decreases of (−2.3%) pre-24 h and (0.3%) pre-48 h. RFDEcc exhibited no significant changes (−4.4%) pre-post, with increases in (6.5%) pre-24 h and (3.5%) pre-48 h.

Rating of fatigue (ROF) exhibited significant changes ($p < 0.001$) across different time points, showing increases in pre-post (286.2%), pre-24 h (153.1%), and pre-48 h (75.0%) (see Figure A3, Appendix A.4). The pull-up test (PUmax) demonstrated significant changes over time ($p < 0.001$), with decreases in pre-post (−21.5%), pre-24 h (−11.3%), and pre-48 h (−5.6%) (see Figure A4, Appendix A.5). All body mass (BM) evaluations showed a decrease ($p < 0.001$) following the test: pre-post (−3.4%); pre-24 h (−2.0%); and pre-48 h (−1.9%). The hand grip strength test (HGS) did not show significant changes between different time points overall ($p = 0.343$), including in the dominant hand (DHGS) ($p = 0.180$) and non-dominant hand (NDHGS) ($p = 0.616$). However, a slight increase was observed in DHGS of +3.24% ($p = 0.054$) pre-post, +3.02% ($p = 0.108$) pre-24 h, and +1.19% ($p = 0.525$) pre-48 h; and in NDHGS of +3.18% ($p = 0.301$) pre-post, +1.19% ($p = 0.563$) pre-24 h, and +1.59% ($p = 0.566$) pre-48 h (see Figure A5, Appendix A.6). Additionally, significant differences were observed between the DHGS and NDHGS ($p < 0.001$), with pre-test differences in ($p = 0.009$) −5.4%, post-test ($p = 0.004$) −5.5%, post-24 h ($p = 0.001$) −7.3%, and post-48 h ($p = 0.025$) −5.0%.

Data from reports are summarized in Table A2 (see Appendix A.7). Overall, the number and severity of symptoms and incidents increased as the distance covered in kilometers increased. Significant changes ($p < 0.001$) were observed, with an increase in perceived fatigue, muscle pain, joint pain, shortness of breath, and excessive sweating

across different segments of the test, as well as in muscle tremors ($p = 0.028$), with the exception of palpitations ($p = 0.189$).

Incidents reported after the test that impeded its performance generally included fatigue and insufficient recovery prior to the test, numerous cases of muscle strain and pain in the soles of the feet, quadriceps, trapezius, lower back, and calves, as well as pain in joints such as knees and shoulders, and blisters.

4. Discussion

In order to observe new findings on neuromuscular fatigue and recovery in the days following a prolonged load carriage test under operational military conditions, the aim of this study was to analyze and describe neuromuscular fatigue and subsequent recovery over the following days induced by a 30 km military conditioning march with 34 kg of combat gear. The primary finding was that the test caused significant fatigue in soldiers, who did not recover their overall absolute strength and maximum lower body power within 48 h, despite a substantial decrease in their perceived fatigue.

After completing the 30 km march with 34 kg of combat gear, IMTP showed an increase following the test. It has been demonstrated that central nervous system (CNS) activation increases after performing simulated military tasks [35]; thus, the test may have stimulated the neuroendocrine system, leading to values exceeding baseline levels [36]. Other studies [37,38] have observed a heightened psychophysiological response caused by stress in simulated combat tests, resulting in greater activation of the sympathetic nervous system, which leads to the release of catecholamines into the bloodstream, thereby increasing muscle strength, heart rate, and blood pressure. Despite this, the total force produced showed a significant decrease at 24 and 48 h; this may be due to a reduction in CNS activation as the body rested and returned to homeostasis. Although force levels increased post-test, special attention should be given when performing other exercises or tasks. Physiologically, prolonged, repetitive, and intense activities initiate a process starting with acute inflammation due to micro-damage to tissues involved in the activity (including muscles, nerves, tendons, and bones) proportional to dose–response [39,40]. If the activity continues in the same manner, the likelihood of developing an overuse injury increases considerably, leading to chronic inflammation and fibrosis of the neuromuscular system, which can result in suboptimal structural-tissue function and operational performance [41].

The drastic impact on lower body power, diminished after this demanding test, was reflected in significantly reduced results for the maximum vertical height reached in the CMJ at various time points (post, 24 h post, and 48 h post). In contrast to our findings, one study observed that after a 20 km march carrying an additional 46 kg, vertical jump height did not show a significant decrease [42]. Moreover, another study [2] involving a 10 km run with different loads (10, 27, and 36 kg) found that VJ and PP were higher after the test compared to baseline values. Nevertheless, data from the present study are similar to those observed in U.S. Rangers after 8 weeks of military training [43], where vertical jump height decreased by approximately 16%, lower body power by around 21%, and total dynamic lifting strength by about 20%. Our findings were also consistent with those observed in a study [44] after a $\approx$ 30 km run without additional load, showing a decrease of $9.8 \pm 7.1\%$ in vertical jump height. A similar trend was seen in PP, which slightly decreased after the test, followed by a more pronounced drop at 24 h, continuing into 48 h with no apparent improvement. Therefore, our data suggest that rest should be proportional to the effort exerted, allowing sufficient recovery between military activities whenever possible.

PEcc and RFDEcc obtained in the CMJ decreased after the test but showed a rapid recovery at 24 h, with values exceeding baseline levels at 48 h. Similarly, PCon and RFDCon increased immediately after the test, then decreased at 24 h, approaching baseline

values at 48 h. It is well known that the application of concentric and eccentric force during running, with eccentric force being applied to a greater extent, is directly correlated with body mass (including extra load carried) and running speed [45]. This can lead to microtrauma in the contractile machinery of muscles predominantly used in running, thereby limiting their force production capacity [46]. Nevertheless, it is possible that numerous eccentric actions helped absorb energy from each impact and utilize it during the concentric propulsive phase of the stretch-shortening cycle, whose function is to enhance performance during the concentric propulsive phase, as previously observed [47]. Despite recovery and supercompensation in the following days, caution should be exercised before introducing another stimulus through training, as it may be counterproductive, especially during field maneuvers, where the body is subjected to additional stressors such as lack of sleep, food, and so on.

Despite everything, the process by which post-test IMTP values showed an increase compared to baseline, while CMJ values were significantly lower, remains unclear. If there had indeed been central nervous system activation, it should have been observed in both tests. It is possible that, although the upper body had to support weight throughout the test through isometric actions, it was the lower body that was responsible for moving the participant's mass and additional load. Therefore, it is believed that peripheral fatigue due to numerous concentric and eccentric actions [48], as well as various functional alterations resulting from the demanding long-duration test [49], may have been greater in the lower body than in the upper body, affecting the power results observed in the CMJ.

On the other hand, the Spanish Marine Corps is accustomed to this type of highly demanding endurance tests, both physically and psychologically, which are common in their line of work. In this context, the perception of fatigue after the hardening military march, as represented by ROF, was consistent with results observed in neuromuscular tests, showing an increase of 286.2% compared to baseline values and remaining 75% higher at 48 h. This was also reflected in the performance trends of PUmax, where performance decreased immediately after the test and gradually recovered at 24 and 48 h. Furthermore, BM remained significantly reduced 48 h post-test, indicating signs of dehydration that may have hindered recovery in the days following the test. Other authors [3], who studied a 20 km march with different loads (34, 48, and 61 kg), observed that perceived intensity was higher with 34 kg compared to carrying 48 and 61 kg, with significantly lower performance in obstacle course tests and cognitive tasks. In light of the aforementioned, ROF is an indicator that, although subjective, is very simple and quick to obtain, and highly recommended for use, as it provides insight into the level of fatigue the individual is experiencing. This allows for adjustments to the next training session or preparation for the next military task or activity. Additionally, better post-test recovery strategies should be considered and implemented if the goal is to fully recover as quickly as possible to perform the next activity in optimal conditions.

The results observed in HGS show an increase in values after the test. Similar studies did not observe significant changes after a 45 min loaded march with 40% of body mass [50]. However, the increase in grip strength observed in the present study is not unprecedented [51,52] and may be due to neuromuscular adaptation resulting from familiarity with this type of test, which mitigates brachial plexus compression issues caused by carrying combat equipment on shoulders, as observed in previous studies [53,54]. Additionally, elevated catecholamine levels may have contributed to the increase in grip strength following the highly demanding march [3]. Regarding differences in grip strength between both hands, a slight bilateral deficit was observed in our study. If this deficit exceeds 10–15% [55], it could negatively impact the performance of specific military tasks that require the development of absolute strength [56], such as carrying heavy equipment, and

ammunition, or simulating casualty evacuation [57]. Therefore, incorporating unilateral strength exercises into training sessions would be a viable solution to reduce this bilateral deficit and balance strength between both hands.

Finally, data collected from reports showed an increase in study variables proportional to the duration and kilometers covered in the test. It has been demonstrated that with greater duration and distance in loaded running, the risk of muscle injury or tissue overload increases due to possible changes in the contractile structures of muscles predominantly used in such activity [58]. These results allow the unit's commanding officer to assess the workload tolerated and identify potential deficits in specific aspects of the soldier's physical condition, enabling the design of training sessions to improve performance in particular segments of the test. In this regard, performing specific training for load-carrying running and aerobic conditioning, combined with strength training, could undoubtedly be a highly effective solution to significantly mitigate muscle damage and fatigue in men and women. This approach would benefit both the upper and lower back muscles responsible for accommodating and stabilizing the weight carried on the shoulders by the backpack and plate carrier, as well as the muscles involved in running, which are essential for absorbing impact and propelling both body mass and additional load with each stride [59]. However, without proper training periodization, achieving the right balance between training stimulus stress and recovery can be challenging, potentially leading to military personnel injuries and resulting in personal and economic resource losses for the armed forces.

The primary limitation of this study was the inability to standardize food and fluid intake before, during, and after the test to homogenize dietary consumption. Additionally, the sample size may have been significantly reduced due to dropout rates caused by injury or illness, as the test administered was physically demanding. Therefore, special attention must be given to the recovery and the management training loads for military personnel in the days following such tests due to the high levels of fatigue they induce, especially if additional common military exercises are required within a short period of time. In this regard, the role of the tactical strength and conditioning instructor is crucial.

5. Conclusions

In conclusion, based on the observed data, the results indicated that the test had a significant neuromuscular impact, with values remaining below baseline levels at 48 h. This is especially important during maneuvers or military exercises in operational units, where numerous training exercises are frequently conducted under stressful conditions. Each of the tests conducted aims to assess performance in various aspects relevant to the military profession (such as endurance, muscular strength, power, coordination, etc.), as these data will allow us to understand to what extent a test of this nature affects military personnel in the tasks inherent to their profession that they may need to perform in the following days, such as jumping or clearing obstacles, moving with agility and coordination, carrying and dragging heavy loads, running long distances, and more [5]. With advancements in sports technology, regular monitoring of neuromuscular performance, as well as before and after highly demanding tests, could be a valid strategy to assess performance status, track recovery progress, and ensure optimal neuromuscular adaptations.

Author Contributions: Conceptualization, B.C.-D., C.M.-P. and P.E.A.; methodology, B.C.-D., C.M.-P. and P.M.d.B.; software, B.C.-D. and C.M.-P.; validation, C.M.-P. and P.E.A.; formal analysis, B.C.-D. and C.M.-P.; investigation, B.C.-D., C.M.-P. and P.E.A.; resources, P.E.A., C.M.-P. and P.M.d.B.; data curation, B.C.-D. and C.M.-P.; writing—original draft preparation, B.C.-D.; writing—review and editing, B.C.-D., C.M.-P. and P.E.A.; visualization, B.C.-D., C.M.-P., P.E.A. and P.M.d.B.; supervision, B.C.-D., P.M.d.B. and C.M.-P.; project administration, P.E.A. and P.M.d.B.; funding acquisition, P.E.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of the Catholic University of Murcia (CE102202).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all participants involved in the study. Written informed consent has been obtained from the participants to publish this paper.

Data Availability Statement: The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgments: This study was made possible through the collaboration agreement between the Ministry of Defense of the Kingdom of Spain and UCAM (BOE-A-2022-12703).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Appendix A

Appendix A.1

Table A1. Performance variable results at different time points.

	PRE	POST	24 H POST	48 H POST	ES [1]	ES [2]	ES [3]
ROF [points]	1.96 ± 0.56	7.57 ± 0.66 ‡	4.96 ± 1.19 ‡Ψ	3.43 ± 1.12 ‡ΨΤ	−6.29	−2.12	−1.10
BM [kg]	80.00 ± 7.79	77.26 ± 7.88 ‡	78.40 ± 7.81 ‡¥	78.55 ± 8.03 ‡Ψ	1.88	2.50	2.06
PUmax [reps]	17.70 ± 3.23	13.91 ± 3.48 ‡	15.65 ± 2.72 ‡Ψ	16.65 ± 3.19 ‡ΨΤ	2.01	1.54	1.48
DHGS [kg]	49.71 ± 6.86	51.32 ± 7.38	51.21 ± 7.33	50.30 ± 6.94	−0.43	−0.35	−0.14
NDHGS [kg]	47.15 ± 7.05	48.65 ± 6.72	47.71 ± 6.31	47.90 ± 6.34	−0.22	−0.12	−0.12
IMTP [N]	2612.26 ± 290.99	2636.70 ± 292.59	2463.43 ± 301.28 †§	2486.43 ± 247.72 ‡§	−0.09	0.61	0.79
VJ CMJ [cm]	32.16 ± 5.96	27.78 ± 6.23 ‡	28.47 ± 4.81 ‡	27.67 ± 4.50 ‡	1.16	1.27	1.20
PP CMJ [W]	3741.83 ± 573.54	3703.17 ± 499.01	3420.83 ± 417.86 †¥	3401.26 ± 462.75 ‡¥	0.08	0.65	0.76
RFDEcc CMJ [N/s]	3469.65 ± 2562.48	3318.61 ± 1971.24	3695.43 ± 1978.30	3592.96 ± 2044.50	0.11	−0.16	−0.08
RFDCon CMJ [N/s]	1995.13 ± 1756.84	2123.52 ± 1509.48	1077.99 ± 935.26 †¥	1754.91 ± 1421.64 δ	−0.05	0.59	0.14
PEcc CMJ [N]	1605.13 ± 362.37	1494.83 ± 370.90 *	1598.30 ± 315.69 Ψ	1611.22 ± 315.12 ¥	0.51	0.03	−0.03
PCon CMJ [N]	1775.61 ± 250.79	1805.57 ± 197.93	1735.61 ± 217.53	1781.48 ± 231.25	−0.15	0.27	−0.05

BM: Body Mass; CMJ: countermovement jump; DHGS: Dominant hand grip strength; ES [1]: Effect size pre-post; ES [2]: Effect size pre-24 h post; ES [3]: Effect size pre-48 h post; IMTP: Isometric mid-thigh pull; NDHGS: Non-dominant hand grip strength; PCon: Peak concentric force; PEcc: Peak eccentric force; PP: Peak power; RFD: Rate of force development; ROF: Rating of fatigue scale. VJ: Maximum vertical jump height from take-off; Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences relative to (a) pre: * = significant difference ($p \leq 0.05$); † = significant difference ($p \leq 0.01$); ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$); (b) Post: § = significant difference ($p \leq 0.05$); ¥ = significant difference ($p \leq 0.01$); Ψ = significant difference ($p \leq 0.001$); and (c) 24 h post: δ = significant difference ($p \leq 0.05$); Τ = significant difference ($p \leq 0.001$).

Appendix A.2

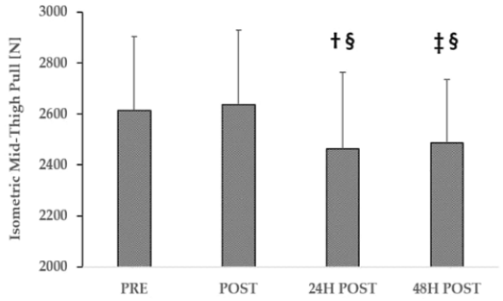


Figure A1. Evolution of results for mid-thigh isometric pull test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences relative to (a) Pre: † = significant difference ($p \leq 0.01$); ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$); and (b) Post: § = significant difference ($p \leq 0.05$).

Appendix A.3

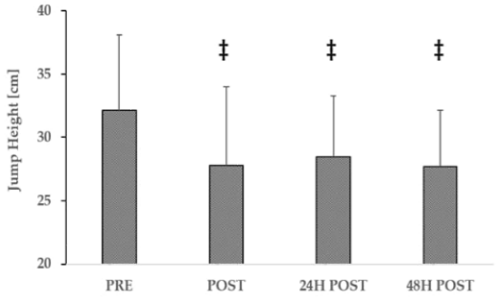


Figure A2. Evolution of results for countermovement jump assessment test. Values are represented as means ± SD. The following symbol indicates significant differences relative to Pre: ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$).

Appendix A.4

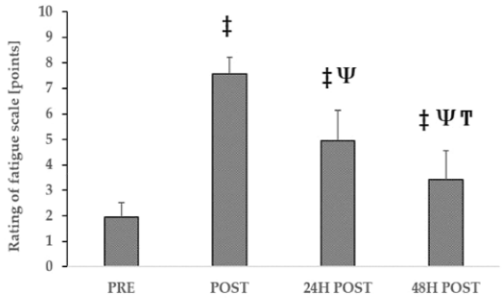


Figure A3. Evolution of results for rating of fatigue scales test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences relative to (a) Pre: ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$); (b) Post: Ψ = significant difference ($p \leq 0.001$); and (c) 24 h post: Ŧ = very significant difference ($p \leq 0.001$).

Appendix A.5

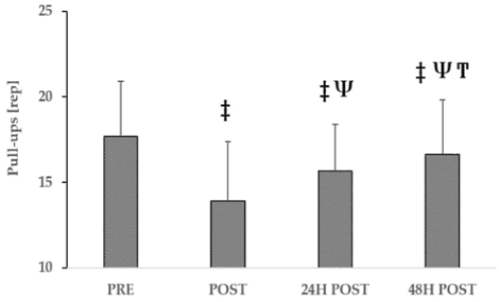


Figure A4. Evolution of results for pull-ups test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences relative to (a) Pre: ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$); (b) Post: Ψ = significant difference ($p \leq 0.001$); and (c) 24 h post: Ŧ = very significant difference ($p \leq 0.001$).

Appendix A.6

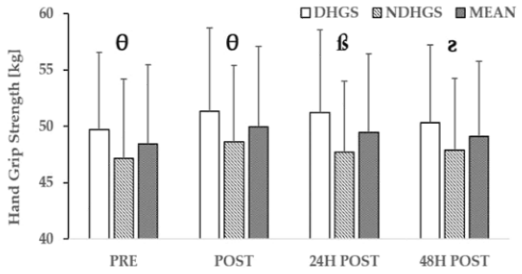


Figure A5. Evolution of results for hand grip strength assessment test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences between DHGS and NDHGS: ƨ = significant difference ($p \leq 0.05$); θ = significant difference ($p \leq 0.01$); ß = significant difference ($p \leq 0.001$).

Appendix A.7

Table A2. Report on incidents and perception of effort following 30 K loaded carriage.

	T1 (0–10 km)	T2 (10–15 km)	T3 (15–20 km)	T4 (20–25 km)	T5 (25–30 km)	ES [1]	ES [2]	ES [3]	ES [4]
Fatigue	30.00 ± 22.16	32.61 ± 22.00	37.83 ± 25.93 §	41.74 ± 26.74 †¥	54.78 ± 29.52 ‡ΨŦΣ	−0.15	−0.38	−0.60	−0.99
Muscle pain	37.83 ± 24.30	39.13 ± 24.66	53.48 ± 23.86 †Ψ	61.30 ± 24.74 ‡Ψδ	70.43 ± 19.42 ‡ΨŦΘ	−0.06	−0.66	−1.31	−1.48
Joint pain	33.91 ± 26.07	32.61 ± 22.00	40.43 ± 26.54 §	49.57 ± 29.46 ‡Ψδ	60.00 ± 28.60 ‡ΨŦΣ	0.06	−0.32	−1.02	−1.39
Shortness of breath	24.78 ± 14.73	24.78 ± 14.73	24.78 ± 14.73	30.00 ± 20.23 *§δ	35.22 ± 23.33 †¥ŦΘ	ND	ND	−0.45	−0.71
Excessive sweating	27.39 ± 17.89	31.30 ± 19.14	31.30 ± 16.87	41.74 ± 25.16 †¥Ŧ	48.26 ± 25.16 ‡ΨŦ	−0.38	−0.29	−0.72	−0.91
Muscle tremor	24.78 ± 14.73	23.48 ± 12.65	24.78 ± 14.73	26.09 ± 16.44	30.00 ± 18.09 §δ	0.21	0.00	−0.12	−0.35
Palpitations	24.78 ± 14.73	26.09 ± 16.44	26.09 ± 16.44	26.09 ± 16.44	30.00 ± 20.23	−0.12	−0.12	−0.12	−0.30

ES [1]: Effect Size T1–T2; ES [2]: Effect Size T1–T3; ES [3]: Effect Size T1–T4; ES[4]: Effect Size T1–T5; ND: Not Determined. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences relative to (a) 0–10 km: * = significant difference ($p \leq 0.05$); † = significant difference ($p \leq 0.01$); ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$); (b) 10–15 km: § = significant difference ($p \leq 0.05$); ¥ = significant difference ($p \leq 0.01$); Ψ = significant difference ($p \leq 0.001$); (c) 15–20 km: δ = significant difference ($p \leq 0.05$); Ŧ = significant difference ($p \leq 0.01$); Ŧ = significant difference ($p \leq 0.001$); and (d) 20–25 km: Θ = significant difference ($p \leq 0.05$); Σ = significant difference ($p \leq 0.01$).

References

1. Knapik, J.J.; Reynolds, K.L.; Harman, E. Soldier load carriage: Historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. *Mil. Med.* **2004**, *169*, 45–56. [CrossRef] [PubMed]
2. Harper, W.; Knapik, J.; de Pontbriand, R. *An Investigation of Female Load Carriage Capability*; Technical Report: ARL-TR-1176; US Army Research Laboratory: Adelphi, MD, USA, 1997.
3. Knapik, J.J.; Johnson, R.F.; Ang, P.; Meiselman, H.L.; Bensel, C.K.; Johnson, W.; Flynn, B.; Hanlon, W.; Kirk, J.; Harman, E.; et al. *Road March Performance of Special Operations Soldiers Carrying Various Loads and Load Distributions*; Technical Report: T14-93; US Army Research Institute of Environmental Medicine: Natick, MA, USA, 1993.
4. Dean, C.E. The Modern Warrior's Combat Load—Dismounted Operations in Afghanistan: 356: 1:35 PM–1:50 PM. *ACSM J.* **2008**, *40*, 60. [CrossRef]
5. Nindl, B.C.; Alvar, B.A.; Dudley, J.R.; Favre, M.W.; Martin, G.J.; Sharp, M.A.; Warr, B.J.; Stephenson, M.D.; Kraemer, W.J. Executive Summary From the National Strength and Conditioning Association's Second Blue Ribbon Panel on Military Physical Readiness: Military Physical Performance Testing. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, S216–S220. [CrossRef] [PubMed]
6. Boffey, D.; Harat, I.; Gepner, Y.; Frosti, C.L.; Funk, S.; Hoffman, J.R. The Physiology and Biomechanics of Load Carriage Performance. *Mil. Med.* **2019**, *184*, e83–e90. [CrossRef]
7. Faghy, M.A.; Shei, R.J.; Armstrong, N.C.D.; White, M.; Lomax, M. Physiological impact of load carriage exercise: Current understanding and future research directions. *Physiol. Rep.* **2022**, *10*, e15502. [CrossRef]
8. Borghols, E.A.; Dresen, M.H.; Hollander, A.P. Influence of heavy weight carrying on the cardiorespiratory system during exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1978**, *38*, 161–169. [CrossRef]
9. Hadid, A.; Belzer, N.; Shabshin, N.; Epstein, Y.; Gefen, A. Deformations in the Shoulder Tissues During Load Carriage: A Computational Model. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, S144–S148. [CrossRef]
10. Coast, J.R.; Clifford, P.S.; Henrich, T.W.; Stray-Gundersen, J.; Johnson, R.L. Maximal inspiratory pressure following maximal exercise in trained and untrained subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1990**, *22*, 811–815. [CrossRef]
11. Liew, B.; Morris, S.; Netto, K. The Effect of Backpack Carriage on the Biomechanics of Walking: A Systematic Review and Preliminary Meta-Analysis. *J. Appl. Biomech.* **2016**, *32*, 614–629. [CrossRef]
12. Nindl, B.C.; Williams, T.J.; Deuster, P.A.; Butler, N.L.; Jones, B.H. Strategies for optimizing military physical readiness and preventing musculoskeletal injuries in the 21st century. *US Army Med. Dep. J.* **2013**, 5–23. [PubMed]
13. Jones, B.H.; Canham-Chervak, M.; Canada, S.; Mitchener, T.A.; Moore, S. Medical surveillance of injuries in the u.s. Military descriptive epidemiology and recommendations for improvement. *Am. J. Prev. Med.* **2010**, *38*, S42–S60. [CrossRef] [PubMed]
14. Bahr, R. No injuries, but plenty of pain? On the methodology for recording overuse symptoms in sports. *Br. J. Sports Med.* **2009**, *43*, 966–972. [CrossRef]
15. Grier, T.; Canham-Chervak, M.; McNulty, V.; Jones, B.H. Extreme conditioning programs and injury risk in a US Army Brigade Combat Team. *US Army Med. Dep. J.* **2013**, 36–47. [PubMed]
16. Bell, N.S.; Mangione, T.W.; Hemenway, D.; Amoroso, P.J.; Jones, B.H. High injury rates among female army trainees: A function of gender? *Am. J. Prev. Med.* **2000**, *18*, 141–146. [CrossRef]
17. Knapik, J.; Bahrke, M.; Staab, J.; Reynolds, K.; Vogel, J. *Frequency of Loaded Road March Training and Performance on a Loaded Road March*; Technical Report: T13-90; US Army Research Institute of Environmental Medicine: Natick, MA, USA, 1990.
18. Grenier, J.G.; Millet, G.Y.; Peyrot, N.; Samozino, P.; Oullion, R.; Messonnier, L.; Morin, J.-B. Effects of Extreme-Duration Heavy Load Carriage on Neuromuscular Function and Locomotion: A Military-Based Study. *PLoS ONE* **2012**, *7*, e43586. [CrossRef] [PubMed]
19. Polcyn, A.F.; Bessel, C.K.; Harman, E.A.; Obusek, J.P. *The Effects of Load Weight: A Summary Analysis of Maximal Performance, Physiological, and Biomechanical Results from Four Studies of Load-Carriage Systems*; Technical Report: ADP010993; US Army Research Institute of Environmental Medicine: Natick, MA, USA, 2001.
20. Harman, E.A.; Gutekunst, D.J.; Frykman, P.N.; Nindl, B.C.; Alemany, J.A.; Mello, R.P.; Sharp, M.A. Effects of two different eight-week training programs on military physical performance. *J. Strength Cond. Res.* **2008**, *22*, 524–534. [CrossRef]
21. Hendrickson, N.R.; Sharp, M.A.; Alemany, J.A.; Walker, L.A.; Harman, E.A.; Spiering, B.A.; Hatfield, D.L.; Yamamoto, L.M.; Maresh, C.M.; Kraemer, W.J.; et al. Combined resistance and endurance training improves physical capacity and performance on tactical occupational tasks. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2010**, *109*, 1197–1208. [CrossRef] [PubMed]
22. Kraemer, W.J.; Vescovi, J.D.; Volek, J.S.; Nindl, B.C.; Newton, R.U.; Patton, J.F.; Dziados, J.E.; French, D.N.; Häkkinen, K. Effects of concurrent resistance and aerobic training on load-bearing performance and the Army physical fitness test. *Mil. Med.* **2004**, *169*, 994–999. [CrossRef]
23. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* **2013**, *310*, 2191–2194. [CrossRef]
24. Grgic, J.; Scapec, B.; Mikulic, P.; Pedisic, Z. Test-retest reliability of isometric mid-thigh pull maximum strength assessment: A systematic review. *Biol. Sport* **2022**, *39*, 407–414. [CrossRef]

25. Markovic, G.; Dizdar, D.; Jukic, I.; Cardinale, M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 551–555. [PubMed]
26. Hébert-Losier, K.; Beaven, C.M. The MARS for squat, countermovement, and standing long jump performance analyses: Are measures reproducible? *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 1849–1857. [CrossRef] [PubMed]
27. Micklewright, D.; St Clair Gibson, A.; Gladwell, V.; Al Salman, A. Development and Validity of the Rating-of-Fatigue Scale. *Sports Med.* **2017**, *47*, 2375–2393. [CrossRef] [PubMed]
28. Hauschild, V.D.; DeGroot, D.W.; Hall, S.M.; Grier, T.L.; Deaver, K.D.; Hauret, K.G.; Jones, B.H. Fitness tests and occupational tasks of military interest: A systematic review of correlations. *Occup. Environ. Med.* **2017**, *74*, 144–153. [CrossRef]
29. Sanchez-Moreno, M.; Pareja-Blanco, F.; Diaz-Cueli, D.; González-Badillo, J.J. Determinant factors of pull-up performance in trained athletes. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2016**, *56*, 825–833.
30. Vanderburgh, P.M.; Edmonds, T. The Effect of Experimental Alterations in Excess Mass on Pull-up Performance in Fit Young Men. *J. Strength Cond. Res.* **1997**, *11*, 230–233.
31. Canino, M.C.; Foulis, S.A.; Zambraski, E.J.; Cohen, B.S.; Redmond, J.E.; Hauret, K.G.; Frykman, P.N.; Sharp, M.A. U.S. Army Physical Demands Study: Differences in Physical Fitness and Occupational Task Performance Between Trainees and Active Duty Soldiers. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 1864–1870. [CrossRef]
32. Batterham, A.M.; Hopkins, W.G. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2006**, *1*, 50–57. [CrossRef]
33. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ, USA, 1988; p. 567.
34. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–13. [CrossRef]
35. Tornero-Aguilera, J.F.; Robles-Pérez, J.J.; Clemente-Suárez, V.J. Effect of Combat Stress in the Psychophysiological Response of Elite and Non-Elite Soldiers. *J. Med. Syst.* **2017**, *41*, 100. [CrossRef]
36. Ojanen, T.; Kyröläinen, H.; Igendia, M.; Häkkinen, K. Effect of Prolonged Military Field Training on Neuromuscular and Hormonal Responses and Shooting Performance in Warfighters. *Mil. Med.* **2018**, *183*, e705–e712. [CrossRef]
37. Clemente-Suárez, V.J.; Robles-Pérez, J.J.; Fernández-Lucas, J. Psycho-physiological response in an automatic parachute jump. *J. Sports Sci.* **2017**, *35*, 1872–1878. [CrossRef] [PubMed]
38. Clemente-Suarez, V.J.; Palomera, P.R.; Robles-Pérez, J.J. Psychophysiological response to acute-high-stress combat situations in professional soldiers. *Stress Health* **2018**, *34*, 247–252. [CrossRef] [PubMed]
39. Barr, A.E.; Barbe, M.F. Pathophysiological Tissue Changes Associated With Repetitive Movement: A Review of the Evidence. *Phys. Ther.* **2002**, *82*, 173–187. [CrossRef]
40. Barbe, M.F.; Gallagher, S.; Massicotte, V.S.; Tytell, M.; Popoff, S.N.; Barr-Gillespie, A.E. The interaction of force and repetition on musculoskeletal and neural tissue responses and sensorimotor behavior in a rat model of work-related musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2013**, *14*, 303. [CrossRef] [PubMed]
41. Barbe, M.F.; Gallagher, S.; Popoff, S.N. Serum Biomarkers as Predictors of Stage of Work-related Musculoskeletal Disorders. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* **2013**, *21*, 644. [CrossRef]
42. Knapik, J.; Staab, J.; Bahrke, M.; Reynolds, K.; Vogel, J.; O'Connor, J. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. *Mil. Med.* **1991**, *156*, 197–200. [CrossRef]
43. Nindl, B.C.; Barnes, B.R.; Alemany, J.A.; Frykman, P.N.; Shippee, R.L.; Friedl, K.E. Physiological consequences of U.S. Army Ranger training. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2007**, *39*, 1380–1387. [CrossRef]
44. Lepers, R.; Pousson, M.L.; Maffiuletti, N.A.; Martin, A.; Van Hoecke, J. The effects of a prolonged running exercise on strength characteristics. *Int. J. Sports Med.* **2000**, *21*, 275–280. [CrossRef]
45. Mero, A.; Komi, P.V. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1986**, *55*, 553–561. [CrossRef]
46. Váczi, M.; Rácz, L.; Hortobágyi, T.; Tihanyi, J. Dynamic contractility and efficiency impairments in stretch-shortening cycle are stretch-load-dependent after training-induced muscle damage. *J. Strength Cond. Res.* **2013**, *27*, 2171–2179. [CrossRef]
47. Komi, P.V. Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *J. Biomech.* **2000**, *33*, 1197–1206. [CrossRef] [PubMed]
48. Dousset, E.; Avela, J.; Ishikawa, M.; Kallio, J.; Kuitunen, S.; Kyröläinen, H.; Linnamo, V.; Komi, P.V. Bimodal recovery pattern in human skeletal muscle induced by exhaustive stretch-shortening cycle exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2007**, *39*, 453–460. [CrossRef]
49. Rousanoglou, E.N.; Noutsos, K.; Pappas, A.; Bogdanis, G.; Vagenas, G.; Bayios, I.A.; Boudolos, K.D. Alterations of Vertical Jump Mechanics after a Half-Marathon Mountain Running Race. *J. Sports Sci. Med.* **2016**, *15*, 277–286. [PubMed]
50. Hein, J.L.; Sesno, N.N.; Armenta, R.F.; Nessler, J.A.; Asakawa, D.S. Upper limb manual dexterity, strength and blood flow after walking with backpack load. *Appl. Ergon.* **2021**, *97*, 103505. [CrossRef] [PubMed]

51. Knapik, J.; Daniels, W.; Murphy, M.; Fitzgerald, P.; Drews, F.; Vogel, J. Physiological factors in infantry operations. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1990**, *60*, 233–238. [CrossRef]
52. Patton, J.F.; Vogel, J.A.; Damokosh, A.I.; Mello, R.P. Effects of continuous military operations on physical fitness capacity and physical performance. *Work Stress* **1989**, *3*, 69–77. [CrossRef]
53. Bessen, R.J.; Belcher, V.W.; Franklin, R.J. Rucksack paralysis with and without rucksack frames. *Mil. Med.* **1987**, *152*, 372–375. [CrossRef]
54. Wilson, W.J. Brachial plexus palsy in basic trainees. *Mil. Med.* **1987**, *152*, 519–522. [CrossRef]
55. Parkinson, A.O.; Apps, C.L.; Morris, J.G.; Barnett, C.T.; Lewis, M.G.C. The Calculation, Thresholds and Reporting of Inter-Limb Strength Asymmetry: A Systematic Review. *J. Sports Sci. Med.* **2021**, *20*, 594–617. [CrossRef] [PubMed]
56. MacDonald, G.Z.; Mazara, N.; Herzog, W.; Power, G.A. Mitigating the bilateral deficit: Reducing neural deficits through residual force enhancement and activation reduction. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2018**, *118*, 1911–1919. [CrossRef] [PubMed]
57. Grandou, C.; Wallace, L.; Fullagar, H.H.K.; Duffield, R.; Burley, S. The Effects of Sleep Loss on Military Physical Performance. *Sports Med.* **2019**, *49*, 1159–1172. [CrossRef] [PubMed]
58. Orr, R.; Pope, R.; Lopes, T.J.A.; Leyk, D.; Blacker, S.; Bustillo-Aguirre, B.S.; Knapik, J.J. Soldier Load Carriage, Injuries, Rehabilitation and Physical Conditioning: An International Approach. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 4010. [CrossRef] [PubMed]
59. Knapik, J.J.; Harman, E.A.; Steelman, R.A.; Graham, B.S. A systematic review of the effects of physical training on load carriage performance. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 585–597. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Anexo 2. Estudio 2 en formato original de publicación: Respuestas neuromusculares a una carrera contrarreloj con carga de 5 km por Infantes de Marina del Ejército español.

Cáceres-Diego, B., Alcaraz, P. E., & Marín-Pagán, C. (2025). Neuromuscular Responses to 5 K Time Trial Load Carried by Spanish Army Marines. Sports, 13(4), 129. https://doi.org/10.3390/sports13040129

sports

MDPI

Article

Neuromuscular Responses to 5 K Time Trial Load Carried by Spanish Army Marines

Beltrán Cáceres-Diego [1,*], Pedro E. Alcaraz [1,2,3] and Cristian Marín-Pagán [1,2]

[1] UCAM Research Center for High Performance Sport, UCAM Universidad Católica de Murcia, 30107 Murcia, Spain; palcaraz@ucam.edu (P.E.A.); cmarin@ucam.edu (C.M.-P.)
[2] Strength and Conditioning Society, 30008 Murcia, Spain
[3] Facultad de Deporte, UCAM Universidad Católica de Murcia, 30107 Murcia, Spain
* Correspondence: bcaceres@alu.ucam.edu

Abstract: One of the physical requirements for marines involves covering a specific distance while carrying individual combat gear, supplies, or other military equipment across challenging terrain. Training for this physically and mentally demanding task is a routine component of their preparation. However, further research is needed to better understand the neuromuscular impact of such demanding efforts, strenuous maneuvers, and the recovery process in the subsequent days. Twenty-nine marines completed a 5 km time trial while carrying 24 kg of combat gear, undergoing evaluations at four time points: pre exercise, immediately post exercise, 24 h post exercise, and 48 h post exercise. Repeated measures ANOVA, paired samples *t*-test, and effect size (ES) analysis were conducted, presenting the results as the mean ± standard deviation (SD). The significance level was set at $p \leq 0.05$. Several variables and their corresponding *p*-values demonstrated changes over time, including the following: the isometric mid-thigh pull (IMTP) ($p = 0.001$); countermovement jump height (VJ CMJ) ($p \leq 0.001$); rating of fatigue scale (ROF) ($p \leq 0.001$); blood lactate (BL) levels ($p \leq 0.001$); maximum pull-ups (PUmax) ($p \leq 0.001$); body mass (BM) ($p \leq 0.001$); dominant hand grip strength (DHGS) ($p = 0.406$); and non-dominant hand grip strength (NDHGS) ($p = 0.805$). Incident reports and perceived effort (IRPE) revealed a progressive and significant increase between the first and last kilometer of the test, specifically in perceived variables of fatigue, muscle pain, joint pain, shortness of breath, palpitations, excessive sweating, and muscle tremors (all $p \leq 0.001$). These findings may contribute to optimizing training programs to better align with operational demands, thereby improving task performance and overall mission effectiveness. In conclusion, the military test had a significant neuromuscular impact on the body, initially resulting in the potentiation of absolute global isometric strength and lower-limb power. However, these values declined below the baseline levels at 24 and 48 h post test.

Keywords: military; soldier; military personnel; load carriage; neuromuscular fatigue; performance; physical readiness and conditioning

check for updates

Received: 8 March 2025
Revised: 12 April 2025
Accepted: 17 April 2025
Published: 21 April 2025

Citation: Cáceres-Diego, B.; Alcaraz, P.E.; Marín-Pagán, C. Neuromuscular Responses to 5 K Time Trial Load Carried by Spanish Army Marines. *Sports* **2025**, *13*, 129. https://doi.org/10.3390/sports13040129

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

The primary duties of any military force include the defense of the nation, protecting its citizens, and maintaining peace, both nationally and internationally. Within the military, specialized units carry out a wide range of responsibilities, each playing a crucial role in achieving these overarching objectives. Among the most operationally active military units is the infantry, whose members must be prepared to face and overcome any adversity, no matter how dangerous, by adapting to hostile and unpredictable environments. To

successfully fulfill their mission, infantry soldiers require a high level of physical and mental conditioning to meet the demands of their operational duties.

Essentially, infantry soldiers are required to move from one point to another across terrain that is inaccessible to vehicles, all while carrying their combat gear. Over time, this equipment has increased in both size and weight due to the incorporation of technologically advanced combat and supply items intended to enhance protection against evolving threats [1]. As a result, the minimum physical and operational readiness standards required to perform such duties have also risen. In some cases, mission success depends on how rapidly soldiers can reach a designated location, or on their ability to survive by reaching the extraction point in the shortest possible time while carrying their gear. This operational necessity has given rise to one of the most physically demanding military tasks: the loaded march. Loaded marches are an essential component of military training maneuvers, requiring a high level of physical exertion [2]. This task, which involves covering a specific distance while carrying combat gear and equipment in the shortest possible time, demands significant neuromuscular and aerobic fitness, with an emphasis on maximum strength and absolute maximal oxygen consumption (VO_2max) [3]. Due to the high physical demands, soldiers often experience a notable decline in their physical performance, which can persist for several days after the activity [4]. This decline may manifest as reduced muscle strength, accumulated fatigue, and prolonged recovery, highlighting the importance of proper recovery strategies and physical readiness in military contexts.

This test is routinely conducted by the Marine Infantry as part of their military training, as it is a mandatory component of the Spanish Marine Infantry's training and instruction program. The objective of the test is to ensure that marines can cover a specified distance with all the necessary equipment and instruments for mission success in under thirty minutes. The test simulates an offensive action where a soldier must perform combat maneuvers while carrying individual equipment over a set distance. It also replicates scenarios in which an operational team must reach an extraction point in a safe zone within the designated timeframe.

The conditions under which these tests are conducted in a military environment, similarly to those of a real mission, are seldom ideal. Previous studies have shown that stress factors affecting operational performance in military personnel [5,6] include both intrinsic and extrinsic variables. Intrinsic factors involve body composition, gender, age, prior training experience, initial physical performance level, injury history, lifestyle, and psychosocial variables, while extrinsic factors include sleep deprivation, negative energy balance, the work/rest ratio, social and environmental influences, and the methods and materials used in prolonged physical activity training. These extrinsic factors significantly influence the occurrence of overuse injuries in military personnel due to their inability to withstand or mitigate the stress of training loads [7]. Moreover, running while carrying a load is influenced by specific performance limitations that contribute to energy expenditure and, consequently, fatigue during exercise. These limitations include the mass of the load, the individual's body mass, load distribution, movement speed, plate carrier vest, terrain type, and weather conditions [8,9].

These tests are often conducted with accumulated fatigue from previous days and may be followed by additional military activities as part of training exercises, typically with minimal rest between activities, and limited sleep and food intake. These conditions, common in military environments, can affect performance during the test and influence the loaded march's impact on the body, potentially impairing the efficiency of subsequent activities in the following days. This can also increase the risk of injury, as the body may not fully recover from the initial exertion. It is well known that military tasks, activities, and training [10], particularly among infantry soldiers, increase the likelihood of overuse

injuries due to three primary scenarios [11]: (a) a rapid increase in training load following a period of inactivity or low activity; (b) taking on a training load that exceeds an individual's capacity; and/or (c) prolonged participation in high-level training programs, leading to musculoskeletal tissue degradation.

Despite the valuable insights from previous studies [12,13], a significant gap remains in the scientific literature regarding experimental research. While literature reviews are abundant, experimental studies are scarce, with most failing to adequately simulate the complex environmental factors and operational demands faced by military personnel during training and deployment. This study offers an innovative perspective thanks to it being carried out under real operational conditions, diverging from the artificial settings commonly used in prior research. Unlike earlier studies conducted in controlled, laboratory-based environments, this investigation was carried out during an official Spanish Army test that replicates the conditions of an actual mission or deployment. The test was designed specifically to assess the physical and operational performance of military personnel, involving a distance greater than the commonly used two-mile benchmark. Furthermore, the participants were experienced marines, fully trained and in optimal physical and mental condition on the day of the test. The equipment and weaponry used were identical to those employed in real deployment scenarios, thereby ensuring the high ecological validity of the results. These elements collectively provide the unique value of the present study within the scientific literature.

Few studies have documented how military-specific tests (10–20 km, 18–61 kg) impact the neuromuscular and cardiorespiratory systems, as well as performance in specific military tasks [14–17]. There is a lack of comprehensive research analyzing the combined effects of carried load, running speed, and real-world conditions, as these variables are often overly controlled or oversimplified in laboratory settings. It has been demonstrated that VO_2max, maximal strength, and muscular endurance are highly correlated with running while carrying low to moderate loads of 15–25 kg [18], with the general assumption that this correlation is proportional to the load carried, speed, and duration of the test. Research has shown that carried load and movement speed contribute most significantly to fatigue during loaded running [9], with the data indicating that fatigue is delayed during long-duration loaded marches when performed at intensities below ~47% of VO_2max or ~4.6 km/h [8]. Running speed, in particular, plays a crucial role in influencing fatigue and performance. The speed at which personnel move during loaded marches or runs significantly impacts neuromuscular fatigue, energy expenditure, and overall performance [8,19]. Given that military personnel frequently operate at varying speeds and distances in unpredictable environments, understanding how speed interacts with load and fatigue in real-world scenarios is crucial for optimizing training protocols and enhancing operational readiness.

Therefore, given the need for more experimental research that replicates real-world conditions to better understand the effects of load and speed on performance, recovery, and overall resilience in military contexts, further studies are required to determine how these physically and psychologically demanding tests impact the neuromuscular system and the recovery process in the days following their completion. Understanding the physical demands of loaded running tests, their effects on the body, and the recovery from fatigue in the days following their completion through neuromuscular performance tests conducted before and after the trial could help to optimize training load management. This could ensure peak performance during these tests and facilitate the consolidation of physiological adaptations. Therefore, this study aimed to analyze and describe the acute and residual neuromuscular fatigue resulting from a 5 km time trial while carrying 24 kg of combat gear.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

A descriptive repeated-measures study was conducted with 29 professional military personnel, involving a 5 km time trial on flat terrain using a 500 m circuit and 24 kg of combat load. Evaluations were conducted prior to the test as a baseline reference, immediately after the test to assess the acute effects on short-term fatigue and neuromuscular performance, and again at 24 and 48 h post test to observe the impact, potential residual fatigue, and recovery trajectory in relation to physical performance and operational readiness. The total distance covered, elevation gain, and other variables of the 5 km time trial were recorded using identical smart sports watches equipped with GPS technology, providing detailed data. Before the trial, the supervising and command team measured the total course distance to ensure its accuracy. The trial characteristics are expressed as mean ± SD. The total weight of the combat load was 24 kg, consisting of a 24 h survival backpack, helmet, rifle, boots, and a plate carrier with magazine pouches. Participants underwent a familiarization session with the tests prior to the study's implementation. Participants refrained from engaging in vigorous exercise during the 24 h preceding the study. Following the completion of a general warm-up and a subsequent specific warm-up, pre-training data were collected, including participants' age, height, and body mass (BM). The assessment was an official exercise administered by the military academy as part of its scheduled maneuvers. The planning and workload were meticulously tailored and specifically adapted for execution on the day of the test, ensuring that the soldiers were fully prepared and mentally focused to perform at their best. As an official and evaluative test integral to the academy's program, it was not an external supplementary evaluation. In addition, the following performance tests were conducted in the predetermined order: blood lactate (BL), countermovement jump (CMJ), isometric mid-thigh pull (IMTP), hand grip strength (HGS), and rating of fatigue scale (ROF). A specific test was also included: maximum pull-ups in 2 min (PUmax). These tests were conducted in the specified order, with 3–5 min of rest between each. Immediately after completing the time trial, the data were re-collected, and the performance tests were repeated (post test) to assess acute fatigue. Measurements were also taken 24 and 48 h post test to evaluate residual fatigue. Additionally, an incident report and perceived effort (IRPE) was compiled at the end of the test.

2.2. Participants

The sample consisted of 29 male participants (age: 28.7 ± 4.7 years; height: 176.2 ± 5.4 cm; body mass: 78.4 ± 8.0 kg), all of whom were sergeant trainees at the Spanish Marine Infantry School. The inclusion criteria were as follows: (a) active-duty military personnel, (b) belonging to the CAES (access course to the non-commissioned officer scale) of the Marine Infantry Corps, and (c) the absence of any diagnosed illness, injury, or deficiency. The exclusion criteria included (a) the presence of any diagnosed illness, injury, or deficiency that could impair physical performance during the study, (b) undergoing pharmacological treatment potentially affecting physical capacity, (c) failure to complete all phases and protocols of the study, and (d) voluntary withdrawal from the study at any point. The sample consisted exclusively of male participants, as there were no women in the CAES during the study period. Prior to the start of the study, all participants were informed about the nature and procedures of the intervention and provided written informed consent documents in accordance with the Helsinki Declaration [20]. The study was approved by the Ethics Committee of the Catholic University of San Antonio of Murcia (UCAM), as well as by the commanding officers of the Marine Infantry School "General Albacete y Fuster" (Ethics approval code: (CE102202, 28 October 2022).

2.3. Procedures

Warm-up: Prior to each data collection session, participants completed a standardized warm-up protocol comprising the following elements: (a) joint mobility exercises: 1 set of 10 repetitions for each of the following movements: shoulder rotations, trunk rotations, hip twists, and standing knee flexion forward; (b) dynamic stretching: 1 set of 10 repetitions for each of the following exercises: standing hip flexion extension with ground contact, standing hamstring stretch lifting the leg to horizontal and touching toes with the hand; (c) metabolic activation exercises: 1 set of 8–20 repetitions for each of the following exercises: jumping jacks, skipping, lunges, and burpees; and (d) specific strength exercise: barbell deadlifts: set 1 (4 × 20 kg), set 2 (6 × 40 kg), and set 3 (4 × 60 kg), with 1–2 min of rest between sets.

Maximum isometric leg and back strength: The isometric mid-thigh pull (IMTP) is a well-established and reliable method for assessing an individual's overall maximal strength [21]. Participants performed the IMTP using a Smith machine placed on a portable force platform (Kistler 9286BA, Kistler Group, Winterthur, Switzerland). The barbell was fixed in position, and its height was adjusted to be equidistant between the greater trochanter and the lateral epicondyle of both knees. Prior to data collection, the device was calibrated according to the manufacturer's specifications to ensure accuracy and validity. Participants first completed a preliminary submaximal trial (~70% effort) lasting 3–5 s. Following this, they performed two maximal effort attempts, with 20 s of rest between each repetition. Verbal encouragement was provided to ensure maximum effort. The highest recorded value was used for subsequent analysis.

Countermovement jump (CMJ): The countermovement jump (CMJ) is one of the most extensively validated, reliable, and widely used tests for assessing lower-limb power and strength [22]. The CMJ was performed on a portable force platform equipped with four piezoelectric sensors located at each corner, capable of conducting stabilometric analysis via center of pressure oscillations. The platform had a measurement range of 400–600 mm, and the sampling frequency was set 1000 Hz, allowing for the precise recording of displacement and foot contact time with the platform surface. Prior to measurements, the device was calibrated according to the manufacturer's instructions to ensure accurate and valid measurements. The data were recorded and analyzed using Kistler's measurement, analysis, and reporting software (MARS, 2012 S2P Ltd., Ljubljana, Slovenia), which provides stable and reliable squat-derived parameters. MARS has proven effective for individual monitoring and for detecting performance changes over time [23]. Participants were allowed to self-select the depth of the countermovement and were instructed to land as close as possible to their take-off point. Each participant performed two jumps, separated by a one-minute rest interval. The best jump, determined by the maximum vertical height achieved at take-off, was used for analysis. The raw data were exported, and the following parameters were calculated using Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA): maximum vertical jump height (VJ) in centimeters [cm], peak power (PP) in watts [W], peak eccentric (PEcc) and concentric (PCon) force in newtons [N], and rate of force development (RFD) for both the eccentric (RFDEcc) and concentric (RFDCon) phases, measures in newtons per second [N/s].

Rating of fatigue scale (ROF): Participants were asked to rate their perceived level of fatigue after completing the test using a numerical scale from 0 to 10, where 0 represents a state of complete rest and 10 denotes maximum effort or exhaustion [24]. This score was used to quantify the subjective perception of fatigue experienced by each participant in response to the physical exertion of the trial.

Blood lactate (BL): BL levels were assessed only in the post-test phase. For pre-test comparison, standardized resting lactate values were used as a reference [25]. Post-test BL

was measured using a capillary blood sample obtained from the index finger of the right hand. The site was first cleaned of sweat and then disinfected with alcohol-wetted gauze. A puncture was performed using a sterile, single-use lancet. The first drop of blood was discarded to avoid contamination, and the second drop was collected and applied to a test strip, which was immediately inserted into a portable lactate analyzer (model Lactate Pro 2, Arkray, Kyoto, Japan) for measurement.

Maximum pull-ups in 2 min (PUmax): This test, widely used for decades to assess muscular strength and/or endurance in military personnel [6,26], required participants to perform the maximum number of pull-ups within a two-minute time limit, with the chin rising above a horizontal bar. Pull-ups were executed with a pronated grip, with the hands positioned at or wider than shoulder width. The initial position involved hanging from a horizontal bar with elbows fully extended and feet off the ground. Each repetition had to be completed by pulling the body upward until the chin was above the bar, specifically ensuring that the Adam's apple passed the top of the bar [27,28]. The test concluded upon either reaching volitional exhaustion or completing the two-minute duration. Participants were required to maintain continuous grip on the bar throughout the test, without descending or making contact with any surface for rest. Participants were informed that repetitions performed with incorrect or poor technique would not count. A brief rest period of less than 10 s was permitted while maintaining grip. The maximum number of valid repetitions was recorded for analysis.

Hand grip strength (HGS): HGS is a fundamental test used to assess performance in manual lifting and carrying tasks, which are common in military contexts [29]. It was measured using a digital hand dynamometer (Camry model EH101, Zhongshan Camry Electronic Co., Ltd., Zhongshan, China) to determine the maximum isometric grip strength. This variable has been shown to correlate strongly with general health indicators, clinical outcomes, and total body strength [30]. During testing, the shoulder of the evaluated arm remained close to the torso, with the elbow flexed at 90° and the wrist in a neutral position. Two maximal-effort attempts were performed for each hand, dominant (DHGS) and non-dominant (NDHGS), with each contraction held for 3 s. A rest interval of 30 to 60 s was allowed between attempts. The highest value recorded for each hand was used for statistical analysis.

Incident reports and perceived effort during test (IRPE): Upon completion of the 5 km time trial, participants completed a report documenting any incidents, discomfort, symptoms, or subjective perceptions experienced during the test. This included self-reported ratings of fatigue, muscle pain, joint pain, shortness of breath, palpitations, excessive sweating, and muscle tremors. Ratings were given using a four-level ordinal scale: 0 (none), 30 (slight), 60 (moderate), 90 (severe), and were recorded separately for each 1 km segment of the test (0–1 km, 1–2 km, 2–3 km, 3–4 km, and 4–5 km). Additionally, an open-ended observation section was also provided, allowing participants to describe any notable incidents or difficulties encountered during the 5 km test.

2.4. Statistical Analyses

Statistical analysis was conducted using Jamovi software, version 1.6 (The Jamovi project, Sydney, Australia). Inferences were calculated based on the magnitude of fluctuations in performance variables at pre test, post test, 24 h post test, and 48 h post test. The results were expressed as standardized mean differences (mean ± standard deviation, SD) [31]. The normality of the data was evaluated, confirming that all variables met the established criteria. The Shapiro–Wilk test was used for this assessment, considering both the *p*-value and the W statistic. To evaluate the effects of time, group, and their interaction, a repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was performed, including multiple

comparisons between different time points and training protocols (time × training protocols). Subsequently, each studied variable was compared across different time points using paired samples *t*-tests. The significance level was set at $p \leq 0.05$. The effect size (ES) was calculated using Cohen's d correlation coefficient [32] by comparing pre-test to post-test and pre-test to 24 h post-test values. This measure was used to determine the significance of the effect of each variable, reflecting meaningful differences across different time points. The effect size (ES) was interpreted as Cohen's d correlation coefficient with the following classifications: trivial (<0.2), small (≥0.2–< 0.6), moderate (≥0.6–<1.2), large (≥1.2–<2.0), very large (≥2.0–<4.0), and extremely large (≥4.0) [33]. In summary, the guidelines for the use of statistics in sports medicine and exercise sciences were adhered to [33].

3. Results

Regarding the march characteristics collected using similar smart sports watches from 12 participants, the data are presented as mean ± SD. The total distance of the test was initially measured by the supervising and command team to ensure accuracy. The total distance covered was 4.97 ± 0.05 km. The total time was 28.06 ± 2.87 min. The average running pace was 5.65 ± 0.61 min per kilometer. The total estimated calories burned were 416.25 ± 77.67 kcal, calculated based on the individual's anthropometric characteristics, physical condition, and the activity performed, such as age, height, body mass, gender, type of activity, duration, intensity, and heart rate during the test. The average heart rate was 171.08 ± 16.69 beats per minute, with peak rates reaching 187.67 ± 14.54 bpm. The average temperature during the trial was 27.66 ± 1.12 °C, with maximum temperatures reaching 29.7 ± 1.0 °C. The average speed was 10.75 ± 1.13 km/h, with maximum speeds reaching 13.59 ± 1.35 km/h. The total time for the 29 participants who completed the trial, expressed as mean ± SD, was 28.86 ± 3.35 min.

The IMTP test revealed significant changes over time ($p < 0.001$) in the absolute peak vertical force (see Figure A1, Appendix A.1). This force increased by 1.67% immediately post test, but showed a significant decrease of −6.29% at 24 h post test, and −4.57% at 48 h post test compared to the pre-test values.

Regarding the CMJ variables, the VJ showed significant decreases across different time points ($p < 0.001$) (see Figure A2, Appendix A.2), as did the PEcc ($p < 0.001$) and RFDEcc ($p < 0.001$). However, no notable changes were observed in the PP ($p < 0.082$), PCon ($p = 0.844$), or RFDCon ($p = 0.132$). The evolution of changes in the CMJ variables varied across different time points. Specifically, the VJ showed no significant change from pre test to post test (2.46%), but decreased by −3.25% at 24 h post test and −3.51% at 48 h post test compared to the baseline values. The PEcc exhibited a notable decrease of −7.68% immediately post test, with a slight recovery of 0.21% at 24 h and an increase of 3.51% at 48 h compared to the pre-test values. The RFDEcc decreased by −14.93% from pre test to post test, followed by a significant increase of 8.46% at 24 h and 19.58% at 48 h compared to the pre-test values. In contrast, the following variables showed no significant changes: the PP decreased by −3.52% from pre test to post test, −7.58% from pre test to 24 h post test, and −5.12% from pre test to 48 h post test. The PCon decreased by −0.51% from pre test to post test, −0.78% from pre test to 24 h post test, and 0.24% from pre test to 48 h post test. Finally, the RFDCon increased by 9.21% immediately post test, but decreased by −18.74% at 24 h and −20.62% at 48 h compared to the pre-test values.

The performance variable results are summarized in Table 1. The ROF showed a significant increase over time ($p < 0.001$), with a 282.48% increase immediately post test (see Figure A3, Appendix A.3). This was followed by a gradual decrease of 76.07% at 24 h and 53.42% at 48 h compared to the pre-test values. The BL test demonstrated a significant increase ($p < 0.001$) from pre test to post test, with an increase of 378.64%. The BM showed

significant changes over time ($p < 0.001$), remaining below the baseline values by −0.55% immediately post test and −0.59% at 24 h post test. However, it returned to baseline levels (+0.01%) at 48 h post test. The PUmax showed significant decreases across different time points ($p < 0.001$) (see Figure A4, Appendix A.4), with reductions of −11.23% from pre test to post test, −13.19% from pre test to 24 h post test, and a slight recovery of −9.38% at 48 h post test, though still below baseline values.

Table 1. Results of performance variables at different time points.

	PRE	POST	24 H POST	48 H POST	ES[1]	ES[2]	ES[3]
ROF [points]	2.34 ± 0.81	8.95 ± 0.76 ‡	4.12 ± 1.02 ‡¥	3.59 ± 0.63 ‡¥Ŧ	−7.18	−1.39	−1.17
BM [kg]	78.43 ± 7.99	78.00 ± 7.94 ‡	77.97 ± 8.06 ‡	78.44 ± 8.11 ¥T	0.94	0.78	−0.02
BL [mmol/L]	2.20 ± 0.00 [17]	10.53 ± 3.91 ‡	ND	ND	−2.13	ND	ND
PUmax [reps]	17.28 ± 4.73	15.34 ± 4.41 ‡	15.00 ± 3.66 ‡	15.66 ± 3.67 ‡δ̄	0.75	0.79	0.74
DHGS [kg]	52.04 ± 7.60	50.60 ± 8.04	51.17 ± 7.17	51.26 ± 6.64	0.30	0.23	0.18
NDHGS [kg]	49.12 ± 6.57	48.76 ± 7.43	48.86 ± 6.64	49.46 ± 6.78	0.08	0.07	−0.08
IMTP [N]	2590.07 ± 301.98	2633.31 ± 340.13	2427.10 ± 301.71 ‡¥	2471.79 ± 311.95 †¥	−0.25	1.04	0.61
VJ CMJ [cm]	31.35 ± 5.00	32.12 ± 5.45	30.33 ± 5.12 *¥	30.25 ± 4.97 *¥	−0.29	0.40	0.41
PP CMJ [W]	3690.31 ± 691.40	3560.24 ± 660.33	3410.76 ± 486.57	3501.48 ± 521.17	0.16	0.46	0.28
RFDEcc CMJ [N/s]	3592.31 ± 1743.92	3055.97 ± 1833.50	3896.31 ± 1759.16 §	4295.83 ± 1533.59 *¥	0.36	−0.20	−0.50
RFDCon CMJ [N/s]	1436.45 ± 855.45	1568.76 ± 1168.78	1167.28 ± 813.54	1140.21 ± 1046.26	−0.11	0.32	0.25
PEcc CMJ [N]	1628.83 ± 319.79	1503.79 ± 326.18 *	1632.24 ± 256.82 §	1686.00 ± 249.49 Ŧ	0.39	−0.02	−0.36
PCon CMJ [N]	1743.07 ± 228.25	1734.14 ± 233.22	1729.48 ± 214.97	1747.31 ± 204.42	0.07	0.13	−0.04

BM: body mass; CMJ: countermovement jump; DHGS: dominant hand grip strength; ES[1]: effect size pre–post; ES[2]: effect size pre–24 h post; ES[3]: effect size pre–48 h post; IMTP: isometric mid-thigh pull; ND: not determined; NDHGS: non-dominant hand grip strength; PCon: peak concentric force; PEcc: peak eccentric force; PP: peak power; RFD: rate of force development; ROF: rating of fatigue; and VJ: maximum vertical jump height from take-off. Values are presented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences compared to values: (a) pre: (*): significant difference ($p \leq 0.05$); (†): very significant difference ($p \leq 0.01$); (‡): extremely significant difference ($p \leq 0.001$); (b) post: (§): significant difference ($p \leq 0.05$); (¥): very significant difference ($p \leq 0.01$); (Ŧ): extremely significant difference ($p \leq 0.001$); and (c) post 24 h: (δ̄): significant difference ($p \leq 0.05$); (Ŧ): very significant difference ($p \leq 0.01$); (T): extremely significant difference ($p \leq 0.001$).

The HGS did not show significant overall changes over time ($p = 0.647$) (see Figure A5, Appendix A.5). When analyzing each hand individually, the DHGS also did not exhibit significant changes over time ($p = 0.406$), though it decreased by −2.77% immediately post test, −1.67% at 24 h, and −1.50% at 48 h compared to the baseline values. Similarly, the NDHGS did not vary significantly over time ($p = 0.805$), with decreases of −0.73% pre–post, −0.53% pre–post 24 h, and a slight increase of +0.69% pre–post 48 h. In contrast, there were significant differences between the dominant and non-dominant hands ($p = 0.004$), with the mean DHGS being 51.29 ± 7.30 and the mean NDHGS being 49.05 ± 6.78, resulting in a −4.57% difference. The difference in grip strength between the two hands was significant at various time points: −5.94% ($p = 0.001$) pre test, −3.77% ($p = 0.038$) post test, −4.73% ($p = 0.020$) 24 h post test, and −3.70% ($p = 0.043$) 48 h post test.

Data from the IRPE assessment are compiled in Table 2. In general, the number and severity of symptoms and incidents increased with the distance covered. Significant changes ($p < 0.001$) were observed across different segments of the test for all evaluated parameters, including perceived fatigue, muscle pain, joint pain, shortness of breath, palpitations, excessive sweating, and muscle tremors.

The incidents recorded in the post-test report that impaired test performance were, broadly speaking, attributed to fatigue and insufficient recovery prior to the test, as well as several cases of muscle strain and pain in the soles of the feet, chest, quadriceps, and lower back. Additionally, more than 70% of participants reported clear signs of fatigue and performance deficits due to high temperatures on the day of the test, along with symptoms of dehydration, excessive sweating, dizziness, nausea, severe headaches, and reduced running caused by heat exposure.

Table 2. Report on incidents and perceived effort following the 30 km endurance march.

	T1 (0–1 km)	T2 (1–2 km)	T3 (2–3 km)	T4 (3–4 km)	T5 (4–5 km)	ES[1]	ES[2]	ES[3]	ES[4]
Fatigue	14.48 ± 15.26	23.79 ± 25.83 †	40.34 ± 26.92 ‡Ψ	67.24 ± 28.52 ‡ΨT	75.52 ± 28.48 ‡ΨTυ	−0.57	−1.35	−2.12	−2.25
Muscle pain	13.45 ± 15.18	16.55 ± 20.58	25.86 ± 29.70 ‡Ψ	37.24 ± 29.63 ‡ΨΤ	45.52 ± 37.38 ‡ΨT	−0.33	−0.66	−1.09	−1.11
Joint pain	11.38 ± 14.81	13.45 ± 18.95	18.62 ± 28.25 *§	25.86 ± 33.76 †Ψδ	27.93 ± 38.39 †Ψδ	−0.27	−0.42	−0.58	−0.58
Shortness of breath	12.41 ± 15.04	22.76 ± 27.37 †	34.14 ± 32.79 ‡Ψ	42.41 ± 37.19 ‡Ψδ	60.00 ± 34.95 ‡ΨTΣ	−0.56	−0.96	−1.13	−1.75
Excessive sweating	13.45 ± 17.17	25.86 ± 23.68 ‡	37.24 ± 27.37 ‡Ψ	61.03 ± 28.33 ‡ΨT	73.45 ± 23.49 ‡ΨTυ	−0.83	−1.09	−1.75	−2.26
Muscle tremor	11.38 ± 14.81	14.48 ± 20.63	17.59 ± 27.21	22.76 ± 31.72 †§	23.79 ± 32.45 †Ψδ	−0.33	−0.37	−0.52	−0.57
Palpitations	10.34 ± 14.51	15.52 ± 24.87	26.90 ± 33.39 ‡Ψ	30.00 ± 36.74 ‡Ψ	28.97 ± 37.16 ‡Ψ	−0.37	−0.67	−0.81	−0.76

ES[1]: effect size T1–T2; ES[2]: effect size T1–T3; ES[3]: effect size T1–T4; ES[4]: effect size T1–T5. Values are presented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences compared to values: (a) 0–1 km: (*): significant difference ($p \leq 0.05$); (†): very significant difference ($p \leq 0.01$); (‡): extremely significant difference ($p \leq 0.001$); (b) 1–2 km: (§): significant difference ($p \leq 0.05$); (Ψ): very significant difference ($p \leq 0.01$); (Ψ): extremely significant difference ($p \leq 0.001$); (c) 2–3 km: (δ): significant difference ($p \leq 0.05$); (Τ): very significant difference ($p \leq 0.01$); (T): extremely significant difference ($p \leq 0.001$); and (d) 3–4 km: (υ): very significant difference ($p \leq 0.01$); (Σ): extremely significant difference ($p \leq 0.001$).

4. Discussion

To gain new insights into neuromuscular fatigue and recovery after a 5 km time trial while carrying 24 kg of combat gear under operational military conditions, this study aimed to analyze and describe the neuromuscular impact of the trial and the progression of fatigue over the following days. The primary finding was that the test initially caused an increase in overall absolute isometric strength and lower-body power immediately after completion. However, this was followed by significant neuromuscular fatigue, with no evidence of full recovery after 48 h.

Despite the high physical demands of the test, the post-IMTP values increased by nearly 2% compared with the baseline ones, before remaining significantly reduced at both 24 and 48 h. A previous study [17] observed a significant decrease in lower-body strength after a 20 km march with loads of 34, 48, and 61 kg. In contrast, the increased post-test values observed in the present study may be attributed to the heightened psychophysiological activation of the sympathetic nervous system, likely caused by the stress of the test [34]. This reversible physiological and psychological response to stress leads to altered cortical excitation, which in turn increases heart rate, muscular strength, energy metabolism, cortisol levels, and body temperature, while also distorting the perception of fatigue [35,36]. Such overexcitement could be critical for survival in actual combat scenarios, where success or failure may mean the difference between life and death. However, caution should be exercised before engaging in further submaximal efforts, as the neuromuscular system is likely to experience considerable fatigue following such activities. Accumulated fatigue can impair neuromuscular control during dynamic movements, potentially increasing the strain on other structures and raising the risk of musculoskeletal injury due to overuse [37,38]. Additionally, unconscious variations in motor performance may occur as a protective mechanism to prevent overloading tissues involved in repetitive or continuous tasks [39], which could further contribute to increase the risk of injury.

Similarly, the VJ measured during the CMJ initially increased following the test, but then significantly decreased at 24 and 48 h. Given that the test likely induced less metabolic fatigue compared to other long-duration exercises, it is possible that the high mechanical tension resulting from repeated eccentric actions to absorb BM, combined with the additional load carried during each stride and the significant involvement of the eccentric phase in high-speed running, contributed to post-activation potentiation, which counteracted the induced fatigue [40]. A similar effect was observed in study [41] on sub-elite long-distance runners, which found that after performing a vigorous training session consisting of $4 \times (3 \times 400\ m/1')/3'$, more than half of the participants experienced post-activation potentiation in strength and power. This suggests that trained athletes are able to maintain their work capacity despite significant exertion, as evidenced by the results

from both the IMTP and VJ tests. Performance in this discipline appears to be influenced not only by metabolic adaptations, but also by specific neuromuscular adaptations resulting from the type of training. Similar findings have been documented previously [42], where VJ increased, while peak torque strength decreased following a maximal running test. Another study observed that after completing a 10 km march while carrying loads of 18, 27, and 36 kg, VJ and maximum power increased by 13.05%, 8.51%, and 2.36%, respectively [14]. The results obtained in the present study, when compared to other long-duration tests with heavier loads, highlight the role of average running speed, which translates to a higher exercise intensity. Military training is typically characterized by high volumes of exercise at low intensity; therefore, incorporating higher-intensity sessions is necessary to target these metabolic pathways while also enhancing muscle fiber recruitment, in accordance with the size principle. This adaptation enables greater muscle strength and power, even after prolonged exertion, potentially improving performance in real-world missions by enhancing central nervous system arousal.

Other variables assessed in the CMJ test, such as the PP, exhibited a gradual decline following test completion, with a slight recovery observed at 48 h. Similarly, the PEcc and RFDEcc both decreased immediately after the test, but values at 24 and 48 h indicated supercompensation above the baseline levels. In contrast, the RFDCon increased immediately after the test, but then declined at 24 and 48 h compared with the baseline values, while the PCon remained reduced at all time points, showing only a slight increase at 48 h post test. Previous research has demonstrated that during running, the eccentric actions of the support foot contribute to enhancing concentric propulsive actions by absorbing mechanical energy and converting it into elastic energy via stretch-shortening cycles, thereby improving running economy [43,44]. Eccentric actions contribute more significantly than concentric actions to mechanical performance in terms of force and power, thus enhancing propulsion. This difference becomes more pronounced as movement speed increases [45]. In this study, the average speed during the test was 10.8 km/h, with peak speeds reaching 13.6 km/h. It has been demonstrated that at 4.6 km/h (~45% VO_2max), there is an inflection point at which energy expenditure increases substantially [8]. Therefore, it is plausible that the demands of the test, characterized by numerous eccentric actions, whose intensity was amplified by both movement speed and the additional carried load [46], led to the post-test decline in the PEcc and RFDEcc, followed by supercompensation and an enhanced stretch-shortening cycle. This is evidenced by the increased RFDCon and supercompensated PCon values after the test [47].

The ROF values showed a substantial increase in subjective fatigue after the test, rising by approximately 282.5%. However, recovery was relatively rapid, with values returning closer to baseline at 24 and 48 h. The number and severity of symptoms and incidents escalated as the distance covered increased, with notable symptoms including fatigue, shortness of breath, and excessive sweating. Correspondingly, the BL levels rose by nearly 378.6% compared with the pre-test values. Although the test was primarily aerobic in nature [2], the elevated lactate levels suggest a significant reliance on carbohydrate metabolism [48], as well as a reduced ability to clear accumulated lactate due to exercise intensity exceeding the maximum lactate steady state. To sustain performance and mitigate the risk of dehydration, implementing a refreshment station providing food and hydration during the test would be highly beneficial, particularly in high-temperature conditions, similar to those observed in this study.

Furthermore, environmental factors exacerbated the difficulty of the test. Elevated temperatures contributed to premature fatigue in all participants, negatively affecting their performance. This was reflected in the BM measurements, which exhibited a significant decrease lasting up to 24 h before returning to baseline values at 48 h. The observed

reduction in BM suggests that participants did not experience severe dehydration. However, improved recovery strategies may be necessary, as BM remained below baseline 24 h post test. Additionally, the inclusion of a refreshment station with food and water would have been an effective strategy to counteract the adverse effects of elevated temperatures, particularly on exceptionally hot days.

The progression of the PUmax across different evaluations highlights the negative impact of the 5 km loaded run with 24 kg on performance in specific military tasks, as all mean values at various time points remained below the baseline levels. In line with these findings, previous studies [14,15,17] have reported a significant decline in shooting accuracy and grenade-throwing distance following marches of 10–20 km with loads ranging from 34 to 61 kg. Given these results, it is crucial for individuals undergoing similar tests to prioritize effective recovery strategies to restore performance levels as quickly as possible. This is particularly important when engaging in repeated exertion over consecutive days, such as during training maneuvers or extended military exercises.

Grip strength values for both hands (DHGS and NDHGS) remained below the baseline levels across all time points, with no significant changes observed. However, a slight increase above baseline was noted at 48 h for the non-dominant hand. Previous research has similarly reported reduced isometric grip strength for up to 72 h following eight days of military maneuvers [49]. As in the aforementioned study, this reduction in grip strength may be attributed to diminished neural drive, as well as decreases in firing rate, motor unit synchronization, or recruitment [50], likely due to the fatigue induced by the test. Additionally, a disparity of approximately 5% was observed between the dominant and non-dominant hands. While this deficit does not reach the threshold associated with increased injury risk (10–15%) [51], bilateral deficits can still pose a limitation during physical exertion and elevate the likelihood of injury, particularly when performing efforts near maximal capacity. Strength training has been shown to mitigate these imbalances, thereby enhancing physical performance in military-specific tasks and reducing injury risk [52].

The primary limitation of this study was the inability to standardize food and fluid intake before, during, and after the test, which would have ensured uniformity in dietary intake across participants. Additionally, the sample size may have been limited due to the physical demands of the test. For individuals required to perform load-bearing running tests, it is essential to possess a strong foundation of general muscular strength to support the specific demands of load-carrying running activities. This foundational strength is crucial for absorbing the high ground reaction forces generated by the repeated impacts of running, which increase at higher velocities. Therefore, it is imperative to collaborate with a strength and conditioning coach who can design a tailored training program to optimize test performance, ensure effective recovery, and support progressive training development.

Potential future research directions building upon the present study could include the evaluation of similar military tests or tasks under real-world conditions, incorporating recovery periods extending beyond 48 h post assessment, with a focus on monitoring performance and neuromuscular recovery. Additionally, future studies could investigate the impact of such tests on the endocrine system when performed under stress conditions that closely replicate those encountered in operational environments. Furthermore, research could aim to quantify or propose nutrient intake strategies before, during, and in the days following the test, with the objective of enhancing performance in the test itself or in specific military tasks. Alternative approaches to accelerating neuromuscular recovery after the test could also be explored, with the goal of restoring optimal combat readiness in the shortest possible time.

Finally, regarding practical relevance and the implications for military training and real-world operational environments, our findings may contribute to the development of training programs that incorporate longer recovery periods, particularly following the completion of highly demanding physical tests under adverse environmental conditions, given the incomplete recovery observed at 48 h. Furthermore, the implementation of neuromuscular performance monitoring would significantly aid in identifying individuals who tolerate and recover adequately from training load-induced stress, as well as those who do not, thereby helping to reduce the risk of musculoskeletal injuries. This approach would also be particularly appropriate prior to engaging in other physically demanding military activities or maneuvers. Moreover, our findings suggest that military tasks, and the sequence in which they are performed, should be strategically prioritized, as the substantial fatigue induced by such tests can negatively impact the execution and effectiveness of subsequent military operations.

5. Conclusions

In conclusion, the military test imposed significant physical and mental demands, particularly under adverse weather conditions involving high temperatures. It had a considerable neuromuscular impact on the body, initially resulting in the potentiation of global isometric strength and lower-body power immediately after the test, followed by a decline in most of the analyzed variables and inadequate neuromuscular recovery 48 h post test. Therefore, it is essential to implement a periodized physical training program tailored to the specific needs of military personnel engaged in high-demand physical activities, such as those evidenced in this study. This program should be planned in advance, with appropriate training load management and sufficient rest, to ensure that service members are in optimal condition and fully prepared to perform at their best when required. The observed potentiation following such a physically demanding test may have resulted from the increased activation of the neuroendocrine system due to the stress associated with combat-like scenarios, such as defending a position or reaching an extraction point in hostile terrain. The tests conducted in this study were designed to evaluate performance in critical aspects of military duties, including endurance, muscular strength, and power. The collected data offer valuable insights into how such tests affect military personnel in the subsequent days, particularly in key tasks such as jumping, overcoming obstacles, moving with agility and coordination, carrying and dragging heavy loads, and running long distances. Despite the observed enhancements in muscular strength and power, caution should be exercised when performing submaximal or maximal activities following such tests, due to the significant neuromuscular fatigue and potential deterioration in motor control [4], which could ultimately increase the risk of musculoskeletal injury.

Author Contributions: Conceptualization, C.M.-P., B.C.-D., and P.E.A.; methodology, P.E.A., C.M.-P., and B.C.-D.; software, P.E.A., B.C.-D., and C.M.-P.; validation, B.C.-D., C.M.-P., and P.E.A.; formal analysis, B.C.-D. and C.M.-P.; investigation, B.C.-D., C.M.-P., and P.E.A.; resources, P.E.A., C.M.-P., and B.C.-D.; data curation, B.C.-D. and C.M.-P.; writing—original draft preparation, B.C.-D. and C.M.-P.; writing—review and editing, B.C.-D., C.M.-P., and P.E.A.; visualization, B.C.-D., C.M.-P., and P.E.A.; supervision, B.C.-D., C.M.-P., and P.E.A.; project administration, P.E.A. and C.M.-P.; funding acquisition, P.E.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethics Committee of the Catholic University of Murcia (Approval No. CE102202; Approval date: 28 October 2022).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all participants involved in the study. Written informed consent was also obtained from the participants for the publication of this paper.

Data Availability Statement: Data supporting the study's findings are available from the corresponding author upon reasonable request, but are not publicly shared due to ethical and privacy considerations.

Acknowledgments: This study was made possible through the collaboration agreement between the Ministry of Defense of the Kingdom of Spain and UCAM (BOE-A-2022-12703).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Appendix A

Appendix A.1

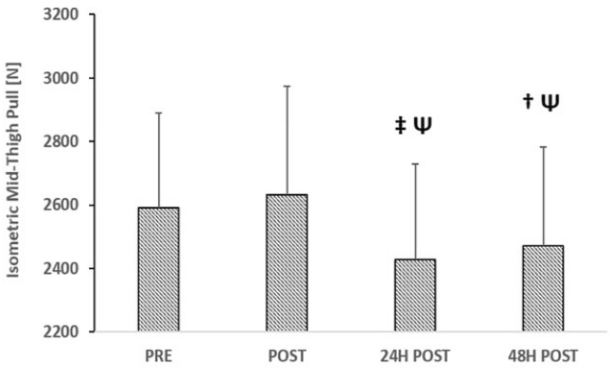


Figure A1. Evolution of results for the isometric mid-thigh pull test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences compared to values: (a) pre: † = significant difference ($p \leq 0.01$), ‡ = very significant difference ($p \leq 0.001$) and (b) post: Ψ = very significant difference ($p \leq 0.001$).

Appendix A.2

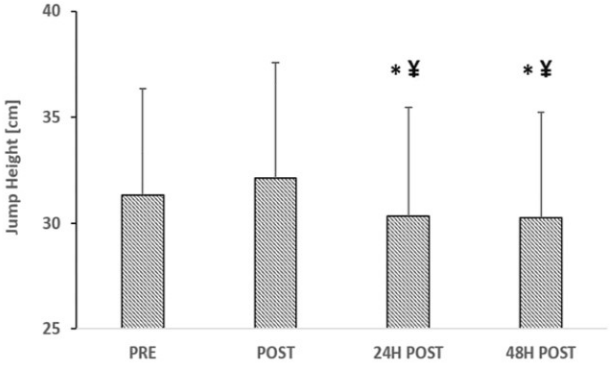


Figure A2. Evolution of results for the countermovement jump height test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences compared to the values: (a) pre: * = significant difference ($p \leq 0.05$) and (b) post: ¥ = significant difference ($p \leq 0.01$).

Appendix A.3

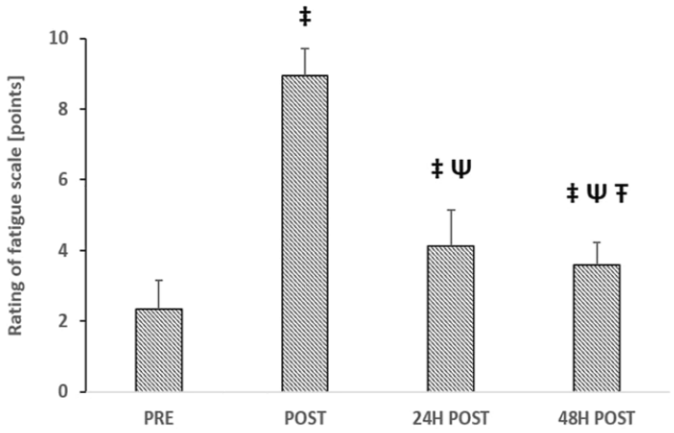


Figure A3. Evolution of results for the rating of fatigue scale test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences compared to the values: (a) pre: ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$), (b) post: Ψ = significant difference ($p \leq 0.001$) and (c) Post 24 h: ₸ = significant difference ($p \leq 0.01$).

Appendix A.4

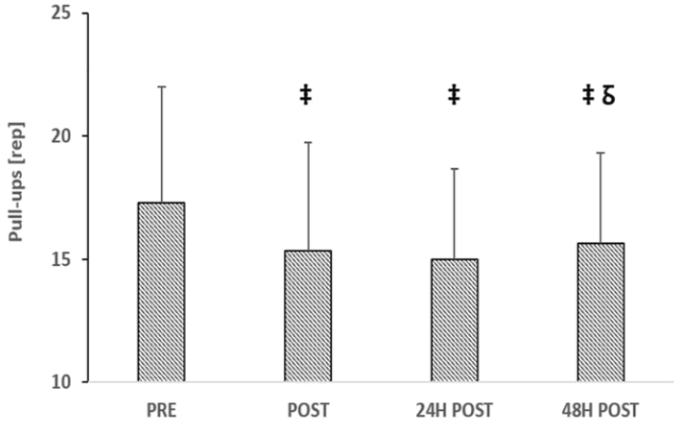


Figure A4. Evolution of results for the pull-up test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences compared to the values: (a) pre: ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$) and (b) post 24 h: δ = significant difference ($p \leq 0.05$).

Appendix A.5

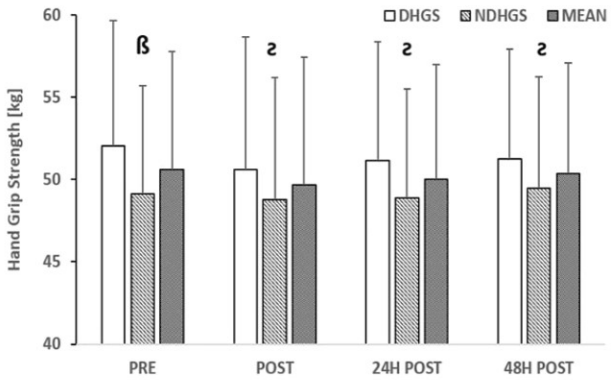


Figure A5. Evolution of results for the hand grip strength test. Values are represented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences between DHGS (dominant hand grip strength) and NDHGS (non-dominant hand grip strength): ƨ = significant difference ($p \leq 0.05$), and ß = significant difference ($p \leq 0.001$).

References

1. Knapik, J.J.; Reynolds, K.L.; Harman, E. Soldier load carriage: Historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. *Mil. Med.* **2004**, *169*, 45–56. [CrossRef] [PubMed]
2. Nindl, B.C.; Alvar, B.A.; Dudley, J.; Favre, M.W.; Martin, G.J.; Sharp, M.A.; Warr, B.J.; Stephenson, M.D.; Kraemer, W.J. Executive Summary From the National Strength and Conditioning Association's Second Blue Ribbon Panel on Military Physical Readiness: Military Physical Performance Testing. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, S216–S220. [CrossRef]
3. Vaara, J.P.; Groeller, H.; Drain, J.; Kyröläinen, H.; Pihlainen, K.; Ojanen, T.; Connaboy, C.; Santtila, M.; Agostinelli, P.; Nindl, B.C. Physical training considerations for optimizing performance in essential military tasks. *Eur. J. Sport Sci.* **2022**, *22*, 43–57. [CrossRef] [PubMed]
4. Cáceres-Diego, B.; Marín-Pagán, C.; Martínez de Baños, P.; Alcaraz, P.E. Effects of a 30 K Military Loaded Carriage on the Neuromuscular System in Spanish Army Marines. *Sports* **2025**, *13*, 76. [CrossRef] [PubMed]
5. McGuine, T. Sports injuries in high school athletes: A review of injury-risk and injury-prevention research. *Clin. J. Sport Med.* **2006**, *16*, 488–499. [CrossRef]
6. Kyröläinen, H.; Pihlainen, K.; Vaara, J.P.; Ojanen, T.; Santtila, M. Optimising training adaptations and performance in military environment. *J. Sci. Med. Sport* **2018**, *21*, 1131–1138. [CrossRef]
7. Paterno, M.V.; Taylor-Haas, J.A.; Myer, G.D.; Hewett, T.E. Prevention of Overuse Sports Injuries in the Young Athlete. *Orthop. Clin. N. Am.* **2013**, *44*, 553–564. [CrossRef]
8. Boffey, D.; Harat, I.; Gepner, Y.; Frosti, C.L.; Funk, S.; Hoffman, J.R. The Physiology and Biomechanics of Load Carriage Performance. *Mil. Med.* **2019**, *184*, e83–e90. [CrossRef]
9. Faghy, M.A.; Shei, R.J.; Armstrong, N.C.D.; White, M.; Lomax, M. Physiological impact of load carriage exercise: Current understanding and future research directions. *Physiol. Rep.* **2022**, *10*, e15502. [CrossRef]
10. Grier, T.; Canham-Chervak, M.; McNulty, V.; Jones, B.H. Extreme conditioning programs and injury risk in a US Army Brigade Combat Team. *US Army Med. Dep. J.* **2013**, 36–47.
11. Hogan, K.A.; Gross, R.H. Overuse injuries in pediatric athletes. *Orthop. Clin. N. Am.* **2003**, *34*, 405–415. [CrossRef] [PubMed]
12. Knapik, J.J.; Harman, E.A.; Steelman, R.A.; Graham, B.S. A systematic review of the effects of physical training on load carriage performance. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 585–597. [CrossRef] [PubMed]
13. Walsh, G.S.; Low, D.C. Military load carriage effects on the gait of military personnel: A systematic review. *Appl. Ergon.* **2021**, *93*, 103376. [CrossRef]
14. Harper, W.; Knapik, J.; de Pontbriand, R. *An Investigation of Female Load Carriage Capability*; Technical Report:ARL-TR-1176; US Army Research Laboratory: Adelphi, MD, USA, 1997.
15. Knapik, J.; Staab, J.; Bahrke, M.; Reynolds, K.; Vogel, J.; O'Connor, J. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. *Mil. Med.* **1991**, *156*, 197–200. [CrossRef]

16. Pihlainen, K.; Santtila, M.; Häkkinen, K.; Lindholm, H.; Kyröläinen, H. Cardiorespiratory responses induced by various military field tasks. *Mil. Med.* **2014**, *179*, 218–224. [CrossRef] [PubMed]
17. Knapik, J.J.; Johnson, R.F.; Ang, P.; Meiselman, H.L.; Bensel, C.K.; Johnson, W.; Flynn, B.; Hanlon, W.; Kirk, J.; Harman, E.; et al. *Road March Performance of Special Operations Soldiers Carrying Various Loads and Load Distributions*; Technical Report:T14-93; US Army Research Institute of Environmental Medicine: Natick, MA, USA, 1993.
18. Rayson, M.; Holliman, D.; Belyavin, A. Development of physical selection procedures for the British Army. Phase 2: Relationship between physical performance tests and criterion tasks. *Ergonomics* **2000**, *43*, 73–105. [CrossRef]
19. Majumdar, D.; Pal, M.S.; Majumdar, D. Effects of military load carriage on kinematics of gait. *Ergonomics* **2010**, *53*, 782–791. [CrossRef]
20. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* **2013**, *310*, 2191–2194. [CrossRef]
21. Grgic, J.; Scapec, B.; Mikulic, P.; Pedisic, Z. Test-retest reliability of isometric mid-thigh pull maximum strength assessment: A systematic review. *Biol. Sport* **2022**, *39*, 407–414. [CrossRef]
22. Markovic, G.; Dizdar, D.; Jukic, I.; Cardinale, M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 551–555.
23. Hébert-Losier, K.; Beaven, C.M. The MARS for squat, countermovement, and standing long jump performance analyses: Are measures reproducible? *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 1849–1857. [CrossRef] [PubMed]
24. Micklewright, D.; St Clair Gibson, A.; Gladwell, V.; Al Salman, A. Development and Validity of the Rating-of-Fatigue Scale. *Sports Med.* **2017**, *47*, 2375–2393. [CrossRef]
25. Beneke, R.; Leithäuser, R.M.; Ochentel, O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2011**, *6*, 8–24. [CrossRef] [PubMed]
26. Hauschild, V.D.; DeGroot, D.W.; Hall, S.M.; Grier, T.L.; Deaver, K.D.; Hauret, K.G.; Jones, B.H. Fitness tests and occupational tasks of military interest: A systematic review of correlations. *Occup. Environ. Med.* **2017**, *74*, 144–153. [CrossRef] [PubMed]
27. Sanchez-Moreno, M.; Pareja-Blanco, F.; Diaz-Cueli, D.; González-Badillo, J.J. Determinant factors of pull-up performance in trained athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2016**, *56*, 825–833. [PubMed]
28. Vanderburgh, P.M.; Edmonds, T. The Effect of Experimental Alterations in Excess Mass on Pull-up Performance in Fit Young Men. *J. Strength Cond. Res.* **1997**, *11*, 230–233.
29. Canino, M.C.; Foulis, S.A.; Zambraski, E.J.; Cohen, B.S.; Redmond, J.E.; Hauret, K.G.; Frykman, P.N.; Sharp, M.A. U.S. Army Physical Demands Study: Differences in Physical Fitness and Occupational Task Performance Between Trainees and Active Duty Soldiers. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 1864–1870. [CrossRef] [PubMed]
30. Leyk, D.; Gorges, W.; Ridder, D.; Wunderlich, M.; Rüther, T.; Sievert, A.; Eßfeld, D. Hand-grip strength of young men, women and highly trained female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2007**, *99*, 415–421. [CrossRef] [PubMed]
31. Batterham, A.M.; Hopkins, W.G. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2006**, *1*, 50–57. [CrossRef]
32. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ, USA, 1988; p. 567.
33. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–12. [CrossRef]
34. Clemente-Suarez, V.J.; Palomera, P.R.; Robles-Pérez, J.J. Psychophysiological response to acute-high-stress combat situations in professional soldiers. *Stress Health* **2018**, *34*, 247–252. [CrossRef]
35. Tornero-Aguilera, J.F.; Robles-Pérez, J.J.; Clemente-Suárez, V.J. Effect of Combat Stress in the Psychophysiological Response of Elite and Non-Elite Soldiers. *J. Med. Syst.* **2017**, *41*, 100. [CrossRef] [PubMed]
36. Clemente-Suárez, V.J.; Robles-Pérez, J.J. Mechanical, physical, and physiological analysis of symmetrical and asymmetrical combat. *J. Strength Cond. Res.* **2013**, *27*, 2420–2426. [CrossRef]
37. Hewett, T.E.; Paterno, M.V.; Myer, G.D. Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **2002**, *402*, 76–94. [CrossRef]
38. Radin, E.L. Role of muscles in protecting athletes from injury. *Acta Med. Scand.* **1986**, *711*, 143–147. [CrossRef] [PubMed]
39. James, C.R.; Dufek, J.S.; Bates, B.T. Effects of injury proneness and task difficulty on joint kinetic variability. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2000**, *32*, 1833–1844. [CrossRef]
40. Rousanoglou, E.N.; Noutsos, K.; Pappas, A.; Bogdanis, G.; Vagenas, G.; Bayios, I.A.; Boudolos, K.D. Alterations of Vertical Jump Mechanics after a Half-Marathon Mountain Running Race. *J. Sports Sci. Med.* **2016**, *15*, 277–286. [PubMed]
41. García-Pinillos, F.; Soto-Hermoso, V.M.; Latorre-Román, P.A. Acute Effects of Extended Interval Training on Countermovement Jump and Handgrip Strength Performance in Endurance Athletes: Postactivation Potentiation. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, 11. [CrossRef]
42. Boullosa, D.A.; Tuimil, J.L.; Alegre, L.M.; Iglesias, E.; Lusquiños, F. Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2011**, *6*, 82–93. [CrossRef]

43. Vogt, M.; Hoppeler, H.H. Eccentric exercise: Mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *J. Appl. Physiol.* **2014**, *116*, 1446–1454. [CrossRef]
44. Li, F.; Newton, R.U.; Shi, Y.; Sutton, D.; Ding, H. Correlation of Eccentric Strength, Reactive Strength, and Leg Stiffness With Running Economy in Well-Trained Distance Runners. *J. Strength Cond. Res.* **2021**, *35*, 1491–1499. [CrossRef] [PubMed]
45. Luhtanen, P.; Komi, P.V. Force-, power-, and elasticity-velocity relationships in walking, running, and jumping. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1980**, *44*, 279–289. [CrossRef] [PubMed]
46. Mero, A.; Komi, P.V. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1986**, *55*, 553–561. [CrossRef]
47. Komi, P.V. Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *J. Biomech.* **2000**, *33*, 1197–1206. [CrossRef] [PubMed]
48. Brooks, G.A.; Mercier, J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: The "crossover" concept. *J. Appl. Physiol.* **1994**, *76*, 2253–2261. [CrossRef]
49. Legg, S.J.; Patton, J.F. Effects of sustained manual work and partial sleep deprivation on muscular strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1987**, *56*, 64–68. [CrossRef]
50. Cormie, P.; McGuigan, M.R.; Newton, R.U. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med.* **2011**, *41*, 17–38. [CrossRef]
51. Parkinson, A.O.; Apps, C.L.; Morris, J.G.; Barnett, C.T.; Lewis, M.G.C. The Calculation, Thresholds and Reporting of Inter-Limb Strength Asymmetry: A Systematic Review. *J. Sports Sci. Med.* **2021**, *20*, 594–617. [CrossRef]
52. Burdukiewicz, A.; Pietraszewska, J.; Andrzejewska, J.; Chromik, K.; Stachoń, A. Asymmetry of Musculature and Hand Grip Strength in Bodybuilders and Martial Artists. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 4695. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Anexo 3. Estudio 3 en formato original de publicación: Monitorización del rendimiento neuromuscular y psicológico durante una temporada en el Cuerpo de Infantería de Marina española.

Cáceres-Diego, B., Alcaraz, P. E., & Marín-Pagán, C. (2025). Neuromuscular and Psychological Performance Monitoring During One Season in Spanish Marine Corps. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 10(3), 324. https://doi.org/10.3390/jfmk10030324ç

Journal of *Functional Morphology and Kinesiology*

MDPI

Article

Neuromuscular and Psychological Performance Monitoring During One Season in Spanish Marine Corps

Beltrán Cáceres-Diego [1], Pedro E. Alcaraz [1,2,3] and Cristian Marín-Pagán [1,2,*]

[1] UCAM Research Center for High Performance Sport, UCAM Universidad Católica de Murcia, 30107 Murcia, Spain; bcaceres@alu.ucam.edu (B.C.-D.); palcaraz@ucam.edu (P.E.A.)
[2] Strength and Conditioning Society, 30008 Murcia, Spain
[3] Facultad de Deporte, UCAM Universidad Católica de Murcia, 30107 Murcia, Spain
* Correspondence: cmarin@ucam.edu

Abstract

Background: Training planning in military environments is complex due to diverse operational demands and constant exposure to stressors. When combined with high training volumes and insufficient recovery, this can result in physical and mental overload. Regular assessments are crucial to monitor the condition of personnel and adjust training accordingly, though more research is needed to effectively track performance in real operational settings. **Objectives:** This study aims to monitor neuromuscular and psychological performance in relation to training load in a military school, addressing the research gap in tracking performance in operational settings. **Methods:** Overall, 27 marines (age: 27.9 ± 4.8 years; height: 178.1 ± 6.3 cm; weight: 79.1 ± 7.8 kg) were monitored over a 13-week academic-military training period to assess neuromuscular performance and psychological fatigue. **Results:** Laboratory tests included the countermovement jump ($p = 0.002$), isometric mid-thigh pull ($p = 0.001$), and handgrip strength for both dominant ($p = 0.947$) and non-dominant hands ($p = 0.665$). Field tests involved maximum pull-ups ($p = 0.015$), push-ups ($p = 0.001$), and the medicine ball throw ($p = 0.334$). Psychological evaluation via the POMS questionnaire showed the highest negative mood scores in Tension–Anxiety, Depression–Melancholia, and Fatigue–Inertia, while Vigor–Activity was the highest positive state. RESTQ-Sport results indicated total recovery was 68.9% greater than total stress. **Conclusions:** Despite improvements in some field tests, no significant neuromuscular gains were observed, likely due to excessive training loads, limited recovery, and sustained stress.

Keywords: military; soldier; military personnel; neuromuscular fatigue; performance; tactical training; stress; psychological assessments and questionnaire

check for updates

Academic Editor: Abdul Rashid Aziz

Received: 14 July 2025
Revised: 10 August 2025
Accepted: 20 August 2025
Published: 21 August 2025

Citation: Cáceres-Diego, B.; Alcaraz, P.E.; Marín-Pagán, C. Neuromuscular and Psychological Performance Monitoring During One Season in Spanish Marine Corps. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* **2025**, *10*, 324. https://doi.org/10.3390/jfmk10030324

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Military training provided at army schools and academies develops both physical and ethical–moral competencies, enabling service members to better withstand the hardships and challenges of military and combat environments. This initial stage of instruction is essential and foundational, as it prepares military personnel for decision-making under conditions of high responsibility and intense stress—conditions that are intrinsic to the duties they will be expected to perform with determination. Such situations typically unfold in unpredictable and rapidly changing environments, under significant physical and psychological demands, and within a multifactorial framework of internal and external

stressors that impact performance in specific military tasks [1], where there is no margin for error in ensuring survival and mission success. Therefore, it is not only essential to strengthen the spirit of resilience—defined as the ability to withstand, recover from, grow through, and adapt to stressful circumstances [2]—since it has been shown to enhance task performance, improve responses to hostile situations, and facilitate coping with numerous stressors [3]. It is equally important to meet the physiological demands inherent to military duties, which have been the subject of research [4], and which require a wide range of physical fitness components. Among these, anaerobic strength and power capabilities are particularly critical, alongside cardiorespiratory and muscular endurance. To effectively meet these demands, a solid foundation of both physical and psychological preparation is imperative for optimal performance during operational missions.

From the moment service members enter academic–military training centers, service members experience elevated levels of stress due to the inherent demands of their instruction [5], as well as during their subsequent service in assigned units—particularly in operational military units. This frequently involves operating at the limits of physical and psychological tolerance in order to be prepared and capable of responding effectively to any adverse situation in the future. For this purpose, frequent tactical exercises and military drills, known as maneuvers, are conducted. These serve as specific preparation for warfare by simulating real combat actions and conditions, which are typically strenuous and prolonged [6]. Maneuvers include endurance marches, tactical combat exercises in urban and topographical environments, the transport of heavy equipment, long-distance traverses, and exposure to simulated combat conditions featuring adverse and unexpected events. Such scenarios significantly challenge the balance between stress and recovery necessary to achieve optimal operational performance while minimizing the risk of injury.

In this regard, stress in the military environment or during simulated combat exercises constitutes the body's response to perceived threatening and challenging stimuli that exceed available resources. It has been demonstrated [7] that stress can produce negative effects, such as increased reaction time, decreased sustained attention, and dysregulation of neurophysiological, neuromuscular, neuroendocrine, cognitive–behavioral, and emotional functions [8,9]. This may lead to errors or fatal accidents, as 80–85% of accidents in military settings are attributed to human errors resulting from fatigue and diminished cognitive performance [10]. This response triggers a cascade of physiological processes aimed at stimulating and preparing the body for danger, including numerous changes in the hormonal, neural, physiological, psychological, and cardiovascular systems [11], all regulated by the autonomic nervous system. This response, in turn, is mediated by the sympathetic nervous system, which induces numerous changes at various levels of the body, exciting it and preparing it to face challenges; and by the parasympathetic nervous system, which attenuates this excitation and promotes homeostasis once it is determined that no threat exists [12,13]. Despite its unfavorable aspects, eustress—a form of positive stress—can also produce beneficial effects by energizing and stimulating the body during highly demanding physical and psychological military tasks or exercises, enabling an optimal state of activation to maximize physical performance when stress levels are balanced [3].

Despite the multifactorial framework of stressors [14–16] that can impair military personnel's operational capacity—and consequently hinder the successful accomplishment of missions—it has been widely demonstrated that physical fitness, combined with a resilient mindset [3], provides a degree of protection against such stressors. This combination facilitates faster and more effective recovery, enhances immune function, and ultimately strengthens the service member's resilience in demanding situations [17,18]. In the pursuit of optimal military physical fitness, current scientific literature suggests that achieving this objective requires the implementation of a program grounded in the rigorous application

of training science principles, building a solid foundation of cardiorespiratory endurance while also emphasizing strength development [19]. Strength training has been consistently shown to provide substantial health benefits, reduce the risk of injury in combatants, and prepare muscles, bones, and tendons to endure the physical demands of the military environment [20]. Therefore, the combination of the primary physical capacities—strength and endurance—is essential for optimal military physical readiness aimed at enhancing operational capability during mission execution [21]. Moreover, if the objective is to achieve chronic positive physiological adaptations that enhance a soldier's physical fitness, numerous studies [22–24] have concluded that the most effective strategy is the application of training periodization. In the absence of an appropriate balance between stress-inducing stimuli and recovery—achieved through proper training load management—prolonged fatigue may result in overtraining [25], an increased risk of injuries [26] with significant economic impact and loss of service time, and ultimately, a deterioration in operational performance and combat readiness [8].

Given the demanding and complex nature of this task, the implementation of strategies—such as periodic assessments carried out both in operational units and military training academies—may prove highly beneficial for monitoring the physical condition of military personnel. This approach would enable adjustments in training plans to ensure appropriate load assimilation and facilitate proper progression. New performance evaluation devices and testing protocols have already demonstrated their effectiveness and efficiency for this purpose, as they are quick to administer, minimally physically taxing, require only brief familiarization, and yield objective and accurate results across a wide range of variables [27,28]. Similarly, among the most commonly employed methods for assessing psychological state and stress levels are self-report instruments such as the Profile of Mood States (POMS) [29] and the Recovery-Stress Questionnaire for Athletes (RESTQ-Sport) [30]. These two widely used self-administered tools in the sports domain offer a comprehensive assessment of both physical and psychological status by tracking mood fluctuations, stress and recovery indicators, and the overall stress–recovery balance in relation to training load—key factors in overtraining risk. Their use enables ongoing evaluation of training load, accurate quantification of fatigue, and timely insight into the condition of military personnel, thereby supporting appropriate management to maintain operational effectiveness, promote long-term training adaptations, and safeguard overall well-being [25]. Nevertheless, despite their advantages, the adoption of new technologies and performance assessment tools in the military context remains gradual.

With regard to this, a study [31] involving a sample of 336 U.S. Navy SEAL candidates during a six-month training course found significantly higher scores in the negative POMS categories—Depression, Tension, and Confusion—among those who did not successfully complete the course, compared to those who did. In a related study, a group of 89 infantry soldiers who completed a 20 km march while carrying 46 kg in the shortest possible time exhibited elevated negative mood states, while their Vigor–Activity scores decreased significantly due to the stress induced by the task [32]. This emotional response pattern has been closely associated with overtraining conditions [33]. Conversely, higher scores in the Anger, Vigor, and Fatigue categories were recorded among candidates who successfully completed the training.

Considering these findings, the monitoring of neuromuscular and psychological performance adapted to military contexts through emerging technologies and performance assessment tools may represent a highly effective approach. This perspective could facilitate the optimization of training programs across military academies, schools, and operational units by allowing for timely adjustments to key training variables such as volume, intensity, and other training parameters, based on the results obtained [28]. This preventive and

modernized approach may prove to be both effective and beneficial in ensuring long-term operational effectiveness and the overall well-being of Armed Forces personnel, while also providing objective data on the progress and development of military personnel. It enables effective monitoring of both physical and mental performance and supports precise adjustments to training programs. Moreover, these assessment tools could contribute to reducing the incidence of overtraining, overuse injuries, and prolonged stress, thereby enhancing operational effectiveness, long-term sustainability, and combat readiness by delivering more effective training to military personnel.

However, due to its limited current implementation within the Armed Forces, further studies are necessary to quantify data regarding the proper progression and development of physical and mental fitness through performance and fatigue monitoring in military personnel belonging to a highly operational unit, such as the Marine Infantry, within a military academic training school. This research could contribute to identifying fluctuations in neuromuscular and psychological performance within a military training environment, as well as to designing strategies that facilitate improved management of psychological load and more precise control over training progression. Additionally, it could raise awareness regarding the importance of implementing strategies involving advanced technological devices to optimize the monitoring and progression of military personnel's physical readiness. Therefore, the main objective of this study is to monitor neuromuscular and psychological performance based on the training load conducted within a military training school. Additionally, it aims to assess the feasibility of implementing these performance evaluation tests within the training regimen of a military academy, as well as to evaluate the progression of military trainees throughout their training program.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

A descriptive repeated-measures study was conducted to evaluate neuromuscular and psychological fatigue in 27 military trainees over a 13-week period during their annual military–academic training. Every three weeks, specific physical tests were administered to assess the accumulated level of fatigue, training load assimilation, and improvements in performance tests. All training sessions performed by the participants were recorded and quantified, including those conducted within the military regimen and those undertaken independently. Additionally, specific military exercises conducted weekly at the military school were included in the records. Participants initially attended a familiarization session, which comprised a theoretical explanation and practical execution of the procedures and performance tests. During a second visit, conducted after at least 24 h without vigorous exercise and following a general warm-up and a specific warm-up, data collection was performed, including age, height, and body mass (BM). Subsequently, physical performance tests were conducted to establish an initial baseline level. These tests were administered in the following order, with rest intervals of 3 to 5 min between each: countermovement jump (CMJ), isometric mid-thigh pull (IMTP), and handgrip strength (HGS); as well as specific physical tests, including maximum pull-ups (PLUmáx) within two minutes, maximum push-ups (PUmáx) within two minutes, and the medicine ball throw (MBT). Complementary to these performance assessments, the POMS and RESTQ-Sport questionnaires were administered weekly (every Sunday) to evaluate psychological fatigue in relation to the military training load. Participants recorded their mood throughout the week, including Sunday, taking into account exercise, military maneuvers, specific practices performed, and other stressors that could affect the stress–recovery balance—factors directly associated with overtraining.

2.2. Participants

The participant sample consisted of 27 military personnel (age: 27.9 ± 4.8 years; height: 178.1 ± 6.3 cm; weight: 79.10 ± 7.82 kg) from the Spanish Marine Infantry School. The inclusion criteria were as follows: (a) active-duty military personnel; (b) enrollment in the Access Course to the Non-Commissioned Officer Rank (CAES) of the Marine Infantry Corps; and (c) absence of any diagnosed illness, injury, or deficiency. The exclusion criteria were (a) any diagnosed condition, injury, or deficiency that could compromise physical performance during the study; (b) undergoing pharmacological treatment that might affect physical capacity; (c) failure to complete all phases and procedures of the study; and (d) voluntary withdrawal at any point. The sample included only male participants, due to the absence of female candidates in the CAES during the data collection period. Prior to the start of the study, all participants were fully informed about the intervention and signed an informed consent form in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki [34]. The study procedures were approved by the Ethics Committee of the Catholic University of Murcia (ethics approval code: CE102202, 28 October 2022), and by the responsible personnel at the "General Albacete y Fuster" Marine Infantry Military School.

2.3. Procedures

2.3.1. Physical Performance Tests

Warm-up: A standardized warm-up protocol was implemented for all participants prior to each data collection session. The warm-up was designed to address key components, including joint mobility exercises, general movements, and specific exercises related to the physical tests to be performed. The protocol comprised the following: (a) joint mobility exercises: 1 set of 10 repetitions for each of the following movements: shoulder rotations, trunk rotations, hip circles, and forward knee flexion while standing; (b) dynamic stretching: 1 set of 10 repetitions for each of the following exercises: standing hip flexion and extension with ground contact, and standing hamstring stretch by raising the leg to a horizontal position and touching the toes with the hands; (c) metabolic activation exercises: 1 set of 8 to 20 repetitions of the following: jumping jacks, scissors jumps, lunges, and burpees; and (d) specific strength exercise (barbell deadlift): set 1:4 repetitions with 20 kg, set 2:6 repetitions with 40 kg, and et 3:4 repetitions with 60 kg, with rest intervals of 1–2 min were provided between sets.

Countermovement jump (CMJ): Participants performed the CMJ on a portable Kistler force platform (Kistler 9286BA, Kistler Group, Winterthur, Switzerland) equipped with four piezoelectric sensors positioned at each corner. This platform enables stabilometric analysis by capturing oscillations of the center of pressure. It has a measurement range of 400–600 mm and a sampling frequency set at 1000 Hz, allowing for precise recording of foot displacement and contact time on the platform surface. The CMJ is one of the most widely used neuromuscular performance tests globally due to its high validity and reliability. It is extensively cited in the scientific literature for the assessment of lower-limb strength and power [35]. Prior to data collection, the device was calibrated according to the manufacturer's instructions to ensure accuracy and validity. Data were recorded and analyzed using Kistler's MARS software (2012, S2P Ltd., Ljubljana, Slovenia), which provides detailed and reliable performance parameters derived from the jump. The MARS software has demonstrated effectiveness for both individual monitoring and the detection of performance changes over time [36]. Participants were allowed to select the depth of their countermovement freely and were instructed beforehand to land as close as possible to their take-off point. Each participant performed two jump attempts, with the best result—defined as the highest vertical jump height at take-off—used for analysis. A one-minute rest interval was provided between attempts. Raw data were exported, and the following

parameters were calculated using Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA): maximum vertical jump height from take-off (VJ CMJ), measured in centimeters [cm], peak power (PP CMJ), measured in watts [W], peak force during the eccentric (PEcc) and concentric (PCon) phases, measured in newtons [N], and rate of force development (RFD) in the eccentric (RFDEcc) and concentric (RFDCon) phases, measured in newtons per second [N/s].

Maximal isometric lower-body strength: Participants performed an isometric mid-thigh pull (IMTP) on a force platform positioned beneath a Smith machine. The bar was fixed in place and adjusted so that its height corresponded to the midpoint between the greater trochanter and the lateral epicondyle of both knees. This performance test is increasingly recognized in the scientific literature due to its strong validation and high reliability for assessing an individual's maximal overall strength [37]. Prior to data collection, the device was calibrated according to the manufacturer's guidelines to ensure accuracy and validity. Participants completed one test attempt at approximately 70% of their perceived maximal force, lasting between 3 and 5 s. After a rest period of one to two minutes, participants performed two maximal efforts, with a 20 s rest interval between trials. Verbal encouragement was provided to ensure maximal effort. The best trial was selected for analysis. Thereafter, the Dynamic Strength Index (DSI) was calculated, a metric used to assess an athlete's ability to generate explosive force relative to their maximal strength. It is determined as the ratio between the peak force of the CMJ and the peak force of the IMTP. This value was derived from the average forces of both tests using the following formula: DSI (%) = (Peak Force CMJ/Peak Force IMTP) [38].

Handgrip strength (HGS): HGS was measured using a digital grip dynamometer (Camry model EH101, Zhongshan Camry Electronic Co., Ltd., Zhongshan, China) to determine maximal isometric grip strength, which has been shown to strongly correlate with health status, clinical parameters, and overall individual strength [39]. Furthermore, HGS is used to assess performance in specific military tasks such as lifting heavy objects, manual material transport, and obstacle negotiation skills, among others [40]. Regarding test execution, the shoulder of the tested limb was kept close to the torso, with the elbow flexed at 90° and the grip in a neutral position. Two maximal-effort repetitions lasting 3 s each were performed for both the dominant hand (DHGS) and the non-dominant hand (NDHGS), with a 60 s rest period between repetitions. The highest value recorded for each hand was used for statistical analysis.

Maximum pull-ups in two minutes (PLUmax): The PLUmax test has been employed in the military setting as an effective and valid measure to assess both strength and muscular endurance of the upper body during pulling movements [4,41]. The test consisted of pulling the body upwards by lifting one's own body weight, ensuring that the chin cleared the horizontal bar on each repetition, performing the maximum number of repetitions within two minutes. In each repetition, the bar was grasped with a pronated grip and hand spacing at shoulder width or slightly wider. The starting position involved hanging from the bar with fully extended elbows, suspended in the air without touching the ground with the feet. After the pull-up, the finishing position was achieved with elbows flexed and chin above the bar. Participants were informed that repetitions performed with incorrect technique would not be counted; thus, each repetition had to involve lifting the body until the chin passed over the bar, specifically ensuring that the thyroid cartilage (Adam's apple) cleared the upper edge of the bar [42,43]. The test ended upon voluntary exhaustion or after two minutes, during which the participant was required to maintain grip on the bar at all times, without dropping or resting on any surface. A brief pause of less than 10 s was allowed during the test.

Maximum push-ups in two minutes (PUmax): The PUmax test has been widely used for decades in military settings and is considered one of the most effective exercises to improve physical condition and to assess upper body strength and muscular endurance during pushing movements [4,44,45]. The test consisted of performing the maximum number of elbow flexion extensions in the prone position. The starting position involved adopting a plank posture, with only the palms of the hands and the feet in contact with the ground, maintaining both the elbows and knees fully extended. The hands were placed shoulder-width apart, and the body was kept fully aligned, without allowing any swaying or compensatory movements. Execution began with elbow flexion to lower the chest toward the ground, followed by extension by pushing against the ground to return to the initial position. The test ended when the participant reached voluntary exhaustion or when the two-minute time limit was reached. Participants were informed that repetitions performed with incorrect technique would not be counted. A brief pause of less than 10 s was permitted during the test.

Medicine ball throw (MBT): The MBT is a test strongly correlated with absolute musculoskeletal mass and, consequently, with muscular strength and power [4,46]. This test could serve as a viable alternative for assessing physical fitness in the military, as it provides more accurate results than traditional fitness assessment methods (such as push-ups and sit-ups), which have been used for years [47]. Moreover, it has been incorporated into the United States Army Combat Fitness Test (ACFT). For the execution of the test, participants stood facing forward, positioned behind the reference line, holding a 4.5 kg medicine ball at hip height with both hands and elbows flexed at 90°. Preparatory movements, including bending the arms, hips, and knees, were allowed to better utilize the kinetic chain and improve performance. Once ready, the participant performed a powerful forward throw of the ball. During the preparatory phase prior to the throw, the feet had to remain in contact with the ground without moving. However, after the throw, lifting one or both feet or even jumping was permitted, provided the reference line was not crossed and balance was maintained. Each participant performed two attempts, with the best distance achieved selected for statistical analysis.

2.3.2. Psychological Performance Tests

Profile of mood states (POMS) questionnaire: The Spanish version of the POMS questionnaire [48] was employed to assess emotional fluctuations and mood states in relation to training load (stress/recovery balance). Although the original questionnaire consists of 65 items grouped into seven categories, the "Friendship" category was excluded due to low internal consistency [49], leaving a total of 58 items distributed across six categories: five negative (Tension–Anxiety, Depression–Dejection, Anger–Hostility, Fatigue–Inertia, and Confusion–Bewilderment) and one positive (Vigor–Activity). The Tension–Anxiety category represents increased tension in the musculoskeletal system; Depression–Dejection reflects feelings of depression and personal inadequacy; Anger–Hostility indicates a state of anger and antipathy toward others; Fatigue–Inertia represents discouragement and low energy; Confusion–Bewilderment indicates a state of mental disorganization; and finally, the Vigor–Activity category reflects an energetic and lively state [50]. Scores were obtained using a 5-point Likert scale (0 = not at all, 4 = extremely), with high scores in negative categories associated with worse mood states, and high scores in the positive category linked to a better mood state. The obtained data enabled the generation of the Iceberg psychological profile of the evaluated group. The Total Mood Disturbance (TMD) score was calculated by summing the scores of the five negative categories, subtracting the Vigor–Activity score, and adding 300 to avoid negative values, as reported in previous studies [50]. Therefore,

a lower TMD score indicates a better psychological state and positive mental health, and vice versa.

Recovery-stress questionnaire for athletes (RESTQ-Sport): The Spanish version of the RESTQ-Sport questionnaire [51] was utilized to assess the balance between stress and recovery related to training load assimilation. This instrument provides insight into both intrinsic and extrinsic stressors, as well as regenerative factors influencing the individual. The questionnaire comprises 76 items distributed across 19 scales, which are further grouped into four dimensions: seven general stress scales, five general recovery scales, three sport-specific stress scales, and four sport-specific recovery scales. Responses were recorded on a 7-point Likert scale, ranging from 0 ("never") to 6 ("always") [52]. Participants completed the questionnaire weekly (every Sunday) throughout the intervention period. To evaluate the internal consistency of the data obtained from both the RESTQ-Sport and POMS questionnaires, Cronbach's Alpha coefficient (α) was calculated [53], with values greater than 0.70 considered acceptable. Cronbach's Alpha was calculated using the following formula, where K represents the number of items, Vi the variance of each item, and Vt the total variance: $\alpha = [K/(K-1)] \times [1 - (\Sigma Vi/Vt)]$.

2.4. Statistical Analyses

Statistical analysis was performed using Jamovi software, version 1.6 (The Jamovi Project, Sydney, Australia), with results expressed as means ± standard deviation (SD) [54]. Data normality was assessed, confirming that all variables met the established criteria by applying the Shapiro–Wilk test, considering both the *p*-value and the W statistic. Inferences were calculated based on the magnitude of fluctuations in the performance variables. The within-subject variability for all tests was assessed by calculating the coefficient of variation (CV) following the method described by Hopkins [55]. To evaluate effects over time, a repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was conducted, including multiple comparisons across different time points. Subsequently, each variable was compared between time points using paired-samples *t*-tests. The correlation between the 19 scales of the RESTQ-Sport questionnaire and the 6 categories of the POMS questionnaire was analyzed using Pearson's correlation coefficient. The significance level was set at $p \leq 0.05$. Effect size (ES) was calculated using Cohen's d coefficient [56], comparing baseline evaluation values (E01) with subsequent evaluations (E02–E05). This measure allowed determination of the relevance of the effect in each variable, reflecting significant differences between the various evaluation points. Effect size was interpreted according to Cohen's d classification as follows: trivial (<0.2), small (≥0.2–<0.6), moderate (≥0.6–<1.2), large (≥1.2–<2.0), very large (≥2.0–<4.0), and extremely large (≥4.0) [57]. In summary, guidelines for the use of statistics in sports medicine and exercise science were followed [57].

3. Results

The results of the physiological and performance variables, expressed as mean ± SD, along with ES and percentage difference (Δ%) between evaluations, are presented in Table A1 and Figure A1, Appendix A.3. BM exhibited significant changes over time ($p < 0.001$). These data show a gradual increase, reaching a peak at evaluation E03, followed by a decline at E05 to values below those initially recorded at E01. Conversely, the CMJ variables demonstrated significant temporal changes in maximum VJ CMJ ($p = 0.002$), PCon CMJ ($p = 0.012$), and RFDEcc CMJ ($p = 0.018$); however, no significant changes were observed in PP CMJ ($p = 0.405$), RFDCon CMJ ($p = 0.834$), or PEcc CMJ ($p = 0.289$). Notably, a significant decrease was observed in all VJ CMJ measurements compared to baseline reference values. Furthermore, peak power (PP CMJ) exhibited fluctuations over time, alternating between decreases and values close to the initial measurements.

IMTP demonstrated significant changes over time ($p = 0.001$), with decreased values observed in all evaluations compared to baseline. The CV (%) for the neuromuscular performance variables across the five assessments conducted at different time points was 9.6, with most values falling within the good range, indicating that the data are consistent. Regarding HGS, no significant changes were detected across the different assessment time points ($p = 0.873$). DHGS did not show significant temporal variation ($p = 0.947$), although a progressive decline was noted. Similarly, NDHGS exhibited no significant changes ($p = 0.665$) and consistently remained below baseline values throughout all measurements. However, significant differences ($p < 0.001$) were found between the dominant and non-dominant hands at all evaluations, resulting in an average difference of 6.57% between DHGS (52.57 ± 6.89) and NDHGS (49.33 ± 6.60). More specifically, the differences between hands were 5.11% ($p = 0.006$) at E01, 7.84% ($p < 0.001$) at E02, 8.30% ($p = 0.008$) at E03, 6.20% ($p < 0.001$) at E04, and 5.43% ($p = 0.008$) at E05.

Significant changes ($p = 0.015$) were observed in the PLUmax test across the different evaluations conducted, showing a clear upward trend compared to baseline values. Similarly, the PUmax test demonstrated significant changes ($p = 0.001$) over time, with a defined and progressive increase. In contrast, the MBT test showed no significant changes ($p = 0.334$) between evaluations, with values remaining close to baseline levels. Table A2, Appendix A.4, presents the results expressed as means and SD for each category of the POMS questionnaire, along with the overall mean, effect size, and the Cronbach's Alpha internal consistency coefficient across the twelve weekly assessments. The Iceberg profile of the POMS questionnaire is shown in Figure A2. From a global perspective, the Vigor–Activity ($p = 0.391$) and Tension–Anxiety ($p = 0.846$) categories recorded the highest mean scores, followed by Depression–Dejection ($p = 0.315$) and Fatigue–Inertia ($p < 0.001$), while Anger–Hostility ($p = 0.523$) and Confusion–Bewilderment ($p = 0.019$) showed the lowest. The Cronbach's Alpha coefficient ranged from 0.84 to 0.95 across the twelve assessments, with an overall mean of 0.92, indicating excellent internal consistency of the POMS questionnaire. The mean scores observed per category over time showed percentage changes of 61.4% in Depression–Dejection, 60.6% in Anger–Hostility, 57.2% in Fatigue–Inertia, 46.8% in Confusion–Bewilderment, 23.0% in Tension–Anxiety, and 10.6% in Vigor–Activity.

Regarding the RESTQ-Sport questionnaire, the results are presented as means and SD for the 19 scales grouped into four dimensions, along with the overall mean, effect size, and Cronbach's alpha internal consistency coefficient, in Table A3, Appendix A.5. The scales and dimensions of the RESTQ-Sport questionnaire across the twelve weeks are shown in Figure A3. Overall, total recovery (TR) exhibited values that were 68.9% higher than those of total stress (TS). The effect size (ES) for TR was extremely large (5.13), whereas that for TS was large (1.73). The dimensions of sport-specific recovery (SSR) and non-sport-specific recovery (NSSR) recorded the highest mean scores across the twelve assessments, with 17.87 ± 4.74 and 17.28 ± 4.89, respectively. In contrast, the dimensions of non-sport-specific stress (NSSS) and sport-specific stress (SSS) showed the lowest values, 4.94 ± 5.27 and 6.69 ± 6.04, respectively. The three scales with the highest mean scores were general well-being (19.98 ± 3.58), self-regulation (18.66 ± 3.99), and self-efficacy (18.49 ± 3.48). Conversely, the scales with the lowest scores were emotional stress (2.54 ± 2.94), general stress (2.63 ± 3.15), and social stress (2.67 ± 3.09). The Cronbach's alpha coefficient, reflecting internal consistency, ranged from 0.79 to 0.93 across the different assessment points, with a mean of 0.84, indicating good reliability and internal validity of the questionnaire. The effect size among the different scales varied between 0.83 and 5.58. Finally, significant changes over time ($p < 0.05$) were observed in categories 7 (Physical Complaints), 9 (Social Recovery), and 13 (Disturbed Rest Periods).

Throughout the twelve assessments, the variability in the mean score of the non-sport-specific stress dimension (NSSS)—measured as the percentage difference between the lowest and highest values recorded at different time points—was 21.9%. The variability within its specific scales was 50.6% for general stress; 47.6% for emotional stress; 45.1% for social stress; 20.9% for conflicts/pressure; 24.9% for fatigue; 25.5% for lack of energy; and 44.1% for physical complaints. The non-sport-specific recovery dimension (NSSR) exhibited a variability of 9.1% across the different time points, with 8.2% variability in the success scale; 13.6% in social recovery; 11.5% in physical recovery; 6.6% in general well-being; and 11.4% in sleep quality. In the sport-specific stress dimension (SSS), scores varied by 23.1% over the twelve assessments, with variability of 37.7% in the rest periods scale; 35.1% in emotional fatigue; and 24.3% in injuries. Finally, in the sport-specific recovery dimension (SSR), a variability of 8.7% was observed across the different time points, with 10.7% variability in the fitness scale; 10.9% in personal accomplishment; 7.4% in self-efficacy; and 12.3% in self-regulation.

The statistical correlations between the 19 scales of the RESTQ-Sport questionnaire and the six categories of the POMS questionnaire are presented in Table A4, Appendix A.6. The most notable findings indicate that the negative categories—Depression–Dejection, Tension–Anxiety, Anger–Hostility, Fatigue–Inertia, and Confusion–Bewilderment—were significantly and positively correlated with the NSSS and SSS dimensions, while being inversely associated with the NSSR and SSR dimensions. The positive category, Vigor–Activity, demonstrated significant negative correlations with NSSS and SSS, and significant positive correlations with NSSR and SSR. Both the positive category of the POMS and the positive scales of the RESTQ-Sport exhibited significantly higher values than the negative categories and scales of the respective questionnaires. Notably, scale 15 (Injuries) was significantly correlated only with the Tension–Anxiety ($p \leq 0.01$) and Fatigue–Inertia ($p \leq 0.001$) categories. Similarly, the Confusion–Bewilderment category did not show significant correlations with scales 4 (Conflicts/Pressure), 5 (Fatigue), 12 (Sleep Quality), or 15 (Injuries). Lastly, scale 9 (Social Recovery) did not show a significant correlation with the Fatigue–Inertia category. In summary, significant correlations ($p \leq 0.001$) were generally observed between most scales and categories of both questionnaires.

Finally, the training load of the participants was monitored through the recording and quantification of training sessions and military practices conducted during the 13-week intervention. Similar training patterns were observed among all participants. The training sessions conducted during the academic period at the Military School were consistent across the entire group, with a progressive training load designed by the military school instructors. Each lasted approximately two hours and took place all working days, except when replaced by military practices, with many days of the week involving double training sessions. Complementarily, the autonomous training sessions performed in the afternoons and on rest days exhibited similar periodization and training modalities among participants. Additionally, a low frequency of weekly rest days was observed. Although the type of training varied from week to week, a consistently high workload was recorded. This included numerous sessions of long-duration aerobic endurance training through progressive continuous running (over 50 min, covering distances between 9 and 12 km); fartlek training sessions (30–40 min); high-intensity interval training (HIIT); functional training, such as CrossFit; and Tabata sessions (30–60 min). Additionally, the weekly military practices were documented, including close-order drill instruction; endurance marches and topographic exercises with equipment (covering distances of 15–50 km); military application courses; 5 km runs with equipment; 2–3 day maneuvers; sea swimming (dock area); and a boat trial. Moreover, numerous strength training sessions were recorded (between 3 and 5 per week, lasting 40 to 60 min), as well as additional swimming and cycling sessions.

4. Discussion

The objective of this study was to monitor the neuromuscular and psychological performance of Marine Infantry military trainees during part of their academic–military training period under an internal regime, while assessing the progression of physical fitness and the feasibility of implementing such evaluation tools in military contexts. The main finding was the presence of a sustained state of stress and psychological tension, accompanied by a lack of improvement in neuromuscular performance tests. However, significant improvements were observed in specific military field tests, namely PLUmax and PUmax, while no improvements were noted in MBT.

The results obtained for the primary neuromuscular performance variables assessed by laboratory tests (VJ CMJ, HGS, and IMTP) indicated no significant improvements between E01 and E05, and even showed a decline after 13 weeks of training at the military school, with minor improvements in field tests. This finding raises questions regarding the appropriateness and effectiveness of the training plan followed and highlights the need to examine possible intrinsic and extrinsic factors influencing the lack of progress. Such factors may include the design and periodization of the training plan, insufficient rest, accumulated fatigue due to the overall overload of military tasks and training sessions, and the absence of individualized training. Nevertheless, it should be acknowledged that certain individuals may exhibit high levels of physical fitness upon entering military training programs, which can limit their capacity for further physiological adaptations and measurable improvements in performance. This physiological ceiling effect of performance may explain the reduced magnitude of change observed in some participants.

In this regard, military physical fitness has traditionally focused on continuous aerobic training characterized by high volume and low intensity over prolonged periods [1]. It is well known that the physical and psychological demands placed on military personnel are extensive, variable, and challenging, often exposing them to extreme and stressful conditions. However, advances in scientific research [58] have concluded that outdated philosophies advocating high-density training programs, involving heavy loads and minimal rest, impede progress toward optimal military physical preparation. This is exemplified by the high training load observed during the intervention period—particularly prolonged endurance training—frequent toughening marches, topographical exercises, running while carrying combat equipment, and numerous additional self-directed strength training sessions. These findings suggest that greater training volume does not necessarily lead to improved outcomes: "More is not better".

Based on the above, although improvements were observed in the field tests, with significant gains in PLUmax and PUmax and with no changes observed in the MBT test, it is highly likely that the participants experienced physiological overreaching or overload due to the high training density. This condition may have caused an imbalance between the stress induced by physical and psychological loads and the recovery processes, leading to elevated metabolic stress and, consequently, decreased performance. This phenomenon has been studied previously, with conclusions indicating that an excessive emphasis on aerobic endurance training over the long-term results in decreased strength levels, hinders the proper acquisition of neuromuscular adaptations, and increases the risk of injury [59]. Furthermore, current trends promoting aggressive training programs characterized by high volume and intensity—frequently performing the maximum number of repetitions with minimal rest—represent an unsustainable long-term approach. Such practices do not adhere to established training principles, which are also applicable to military physical readiness [60], and they increase the risk of injury [58]. These negative effects are exacerbated by insufficient regular rest, which is essential to consolidate physiological adaptations and achieve superior physical performance [61].

Given the complexity of training planning for military personnel due to the wide range of fitness components that must be developed [4], and in order to ensure effective optimization of military physical readiness, it is highly advisable to implement the following: (a) periodized training programs [21], as these provide better and more sustainable results in developing the multiple physical components required to meet the demands of the military profession. Particular emphasis should be placed on the development of muscular strength and power to address the current anaerobic demands in warfare [19]; (b) comprehensive monitoring of internal and external training loads through the use of personal devices, such as heart rate monitors or smart sports watches with GPS [62], as well as non-invasive performance assessment technologies [63], including force platforms, dynamometers, and others, that are valid for quantifying fatigue and evaluating the performance status of military personnel; and (c) strict adherence to the principles of training, particularly individualization, since each individual has specific needs. Training should not be standardized, but rather adapted accordingly, with a clear distinction between tactical populations and athletes, and avoiding direct comparisons between them. This is due to a fundamental difference in training objectives: while athletic training is typically designed to achieve peak performance at a specific point in time, training in tactical environments aims to sustain operational readiness and consistent performance over extended periods.

Furthermore, the results from the POMS questionnaire indicate that the negative mood states, ordered by overall mean scores from highest to lowest, were Tension–Anxiety, Depression–Dejection, Fatigue–Inertia, Confusion–Bewilderment, and Anger–Hostility. Additionally, the positive mood state, represented by the Vigor–Activity category, showed significantly higher scores than the combined total of all negative categories, surpassing the highest negative category by 76.5%. This suggests that the demands placed on the military trainees and their stress levels remained constant throughout all evaluations. It is possible that this condition was deliberately encouraged by military instructors to promote elevated levels of activation related to vigor, thereby contributing to the development of resilience required to face future operational missions. These values do not appear as elevated as those reported in another study [64], which involved 194 athletes from various disciplines. In that study, the total score for negative POMS categories was 48.83 points, 63.8% higher than the positive Vigor category, which scored 17.69 points. However, it is important to note that POMS results vary depending on the population studied, sex, type of sport or activity practiced, and prior experience level. Therefore, results must be contextualized and interpreted in light of sample characteristics. For example, women and athletes in individual sports tend to report higher negative mood states and lower vigor compared to men and athletes in team sports [48]. Similar patterns are observed when comparing non-athletes with athletes [65].

In this regard, it has been demonstrated that military personnel with greater mental toughness and resilience tend to exhibit lower scores in the negative POMS categories, which enables them to better manage pressure and utilize stress to their advantage in operational contexts—particularly when accompanied by optimal physical conditioning [66]. Another study [67] involving 174 Navy SEAL candidates examined the influence of different types of mindsets when facing challenges and unpredictable situations. The findings indicated that a mindset oriented toward interpreting stress as an opportunity for growth—rather than as a threat—was associated with more favorable physiological responses and greater perseverance throughout training in highly demanding and stressful environments. The relatively low scores in the negative mood state categories observed in the present study could potentially be attributed to a tendency among military personnel to refrain from expressing perceived discomfort or fatigue. This behavior may be driven by a desire to project an image of physical and mental toughness, resilience, endurance, and strength

in front of peers and superiors. By consciously downplaying indicators of fatigue, participants may seek to receive a more favorable and resolute assessment of their capabilities, discipline, determination, and operational effectiveness—thereby presenting themselves as more reliable and competent candidates for future responsibilities within the military hierarchy. However, this strategy of concealing perceived exhaustion poses significant risks, as it may lead to physical overexertion, accelerate the onset of functional limitations, and increase the likelihood of musculoskeletal injuries. In this regard, it has been documented that approximately 80% of military injuries are related to overuse [68].

As for the sustained elevation observed in the Tension–Anxiety category, it may be attributed to the continuous exposure to military drills and training sessions. The military environment—particularly exercises and maneuvers simulating real combat scenarios—places considerable strain on both the autonomic nervous system and the cardiovascular system, with effects that may persist well beyond the initial stimulus. This can negatively impact both performance and health [12,13]. Nevertheless, such training practices are essential for Marine Infantry personnel, who must develop a versatile, combative mindset and maintain a high level of physical conditioning to successfully overcome any situation or hostile environment, particularly under extreme conditions. In parallel, they must cultivate the psychological capacity to think critically and make sound decisions while under fatigue, thereby ensuring the successful execution of their mission.

The second-highest negative mood state among Marine Infantry personnel was Depression–Dejection, likely linked to the deeply ingrained spirit of sacrifice developed from the start of training, which fosters exemplary conduct, austerity, unwavering dedication, selflessness, and a willingness to endure hardship in fulfilling duty. Fatigue-Inertia ranked third, plausibly attributed to the highly physically and psychologically demanding military environment, including sleep deprivation, prolonged drills, caloric deficits, exhaustive training, and adverse conditions, all coupled with the drive for continuous improvement and increased tolerance to hardship. Together, these factors reflect the high stress levels among trainees, with Confusion–Bewilderment and Anger–Hostility also present but less prominent.

The positive mood state Vigor–Activity showed the highest scores, likely reflecting the Marine Infantry's philosophy of endurance, determination, and sacrifice, which promotes resilience, stress control, and optimal performance under adversity. In line with these findings, a recent study [69] observed that military personnel who approached their duties with enthusiasm, conviction, and intrinsic motivation reported fewer mood disorders and demonstrated better overall health and quality of life. This mindset, reinforced by strong physical conditioning and intrinsic motivation, aligns with findings that operationally active personnel tend to exhibit fewer negative mood states, such as Tension–Anxiety or Depression–Dejection, and higher levels of Anger–Hostility and Vigor–Activity, traits associated with combat readiness and the capacity to withstand the physical and mental demands of military service. These psychological traits are believed to stem from a higher threshold for sacrifice and an enhanced ability to endure the physical and mental rigors of combat [31,32,70].

With regard to the results obtained from the RESTQ-Sport questionnaire, the sport-specific recovery dimension (SSR) was the primary contributor to the overall recovery process, with a mean score of 17.87 points. Scores for non-sport-specific recovery (NSSR) were only marginally lower, averaging 17.28 points. In contrast, for the dimensions contributing to total stress, sport-specific stress (SSS) was predominant, with a mean score of 6.69 points, compared to 4.94 points for non-sport-specific stress (NSSS). These findings suggest that factors directly associated with training load (i.e., SSR and SSS) play a more prominent role in shaping the overall stress–recovery balance. Within this context, it was

noted that the total stress scores were, on average, 68.9% lower than the total recovery scores. This indicates that the military academy provides a demanding yet sustainable training environment—one that maintains military personnel in a state of operational readiness without, in general terms, compromising their physiological and psychological recovery capacities.

Furthermore, the correlation between the POMS categories and the RESTQ-Sport scales—particularly those negative parameters associated with overtraining, such as stress and adverse mood states, as well as positive scales linked to recovery and appropriate training load assimilation, including vigor—has been previously examined [51,64,71], showing consistent and comparable results to those obtained in the present study. The scales contributing most significantly to total stress were scale 15 (Injuries) and scale 5 (Fatigue), which demonstrated a strong correlation ($p < 0.001$) with a coefficient of 0.893. Conversely, the scales contributing most to total recovery were scale 11 (general well-being) and scale 19 (self-regulation), also showing a significant correlation ($p < 0.001$) with a coefficient of 0.802. Stressors are commonly present in academic–military training environments, where their purpose is to challenge and harden military trainees. However, some authors [72,73] contend that chronic stress does not necessarily enhance soldiers' self-regulation during combat training or maneuvers; instead, it may precipitate a decline in operational performance and adversely affect neurological, cardiovascular, and general health, thereby leading to suboptimal outcomes.

The primary limitation of this study was the small sample size and the relatively brief duration of the protocol, which likely restricted the statistical power of the findings. Moreover, daily caloric intake was not quantified, nor were advanced technological devices employed to precisely measure and record physiological variables related to training load. An additional limitation that should be considered when interpreting the results of the present study is the initial physical fitness level of the participants, as well as their prior training experience. Although all participants demonstrated sufficient physical capacity to pass the entrance examinations for the military academy and to cope with a demanding training schedule and military drills within the academic–military program, they did not share the same baseline fitness level or training background. This variability may have influenced their responses to the training, as individuals with higher levels of physical fitness typically exhibit less pronounced physiological adaptations. Furthermore, the lack of an assessment of aerobic capacity in the sample constitutes another limitation of this study, as this parameter could have provided valuable insights for a more comprehensive interpretation of the findings. Another limitation was the lack of a detailed presentation of the weekly training structure. Although the training sessions were systematically recorded, the complexity and volume of these data prevented their inclusion in the manuscript, making it difficult to provide a clear overview of the training load quantification in the present study.

Future research should aim to extend the monitoring period of neuromuscular and psychological performance parameters. More comprehensive assessments incorporating physiological, hormonal, and biochemical indicators are also recommended, with these measures contrasted against neuromuscular and psychological variables as well as subjective effort ratings. Finally, further investigations could enhance understanding of internal and external stressors and their effects on performance in specific military tasks.

Finally, regarding the potential practical applications derived from the findings of this study, it is strongly recommended to optimize training programs through the implementation of periodized planning that integrates the broad spectrum of components necessary for the future performance of military personnel and mission accomplishment. This is particularly relevant in highly operational units and academic–military training

centers, where demands are greater and trainees are at a critical stage of professional development. To this end, advancements in the scientific literature include numerous studies that provide valuable information for designing optimal and sustainable training programs. Such advanced programs should be based on the fundamental principles of training, emphasizing individualization and specific adaptation to the needs of the military environment. Furthermore, the use of advanced physiological monitoring technology is strongly recommended to accurately and comprehensively assess physical performance and fatigue levels. This information would allow for a more precise determination of the optimal timing to introduce microcycles of unloading, recovery, and low intensity, or shock microcycles characterized by higher stress and high volume and/or intensity. In this way, an updated analysis of the military personnel's performance status would be available, preventing physiological overreaching or overload, the lack of adaptation to training, and consequently, diminished physical, and operational performance. Lastly, it is considered essential to abandon traditional training programs and beliefs based on high intensity, elevated volume, and minimal rest, and to promote a culture of strategic recovery, where rest is fundamental for the progress and consolidation of physiological adaptations induced by training.

5. Conclusions

The findings of the present study underscore the need to optimize military training programs, particularly in operational units and training centers where physical and psychological demands are high. Enhanced physical and military readiness, combined with a robust resilience mindset, can undoubtedly overcome and conquer the challenges inherent to the military environment, thereby improving personnel operability and effectiveness in mission fulfillment. It is evident that traditional methodologies, characterized by high training loads and limited recovery, may hinder physical and neuromuscular adaptation while maintaining elevated stress levels. Furthermore, the correlation between the POMS and RESTQ-Sport scales provided a comprehensive insight into the mood states of military personnel, highlighting persistent activation and tension. In this context, the implementation of periodized planning that integrates all components necessary for operational performance is strongly recommended, emphasizing individualization and specific adaptation to the military environment. To this end, the incorporation of technological tools for physiological monitoring is essential, enabling precise tracking of performance and fatigue, thus allowing rigorous adjustments to loading and unloading cycles. Finally, it is crucial to abandon training approaches based on excessive volume and intensity with insufficient rest, fostering a culture of strategic recovery as a cornerstone for consolidating training-induced adaptations.

Author Contributions: Conceptualization, B.C.-D. and C.M.-P.; methodology, P.E.A., C.M.-P. and B.C.-D.; software, B.C.-D. and P.E.A.; validation, P.E.A. and C.M.-P.; formal analysis, B.C.-D.; investigation, B.C.-D., P.E.A. and C.M.-P.; resources, P.E.A. and C.M.-P.; data curation, B.C.-D.; writing—original draft preparation, B.C.-D. and C.M.-P.; writing—review and editing, B.C.-D., C.M.-P. and P.E.A.; visualization, B.C.-D. and C.M.-P.; supervision, C.M.-P. and P.E.A.; project administration, P.E.A. and C.M.-P.; funding acquisition, P.E.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethics Committee of the Catholic University of Murcia (Approval No. CE102202; Approval date: 28 October 2022).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all participants involved in the study. Written informed consent has been obtained from the participants for the publication of this paper.

Data Availability Statement: Data supporting the study's findings are available from the corresponding author upon reasonable request, but are not publicly shared due to ethical and privacy considerations.

Acknowledgments: This study was made possible through the collaboration agreement between the Ministry of Defense of the Kingdom of Spain and UCAM (BOE-A-2022-12703).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Appendix A

Appendix A.1

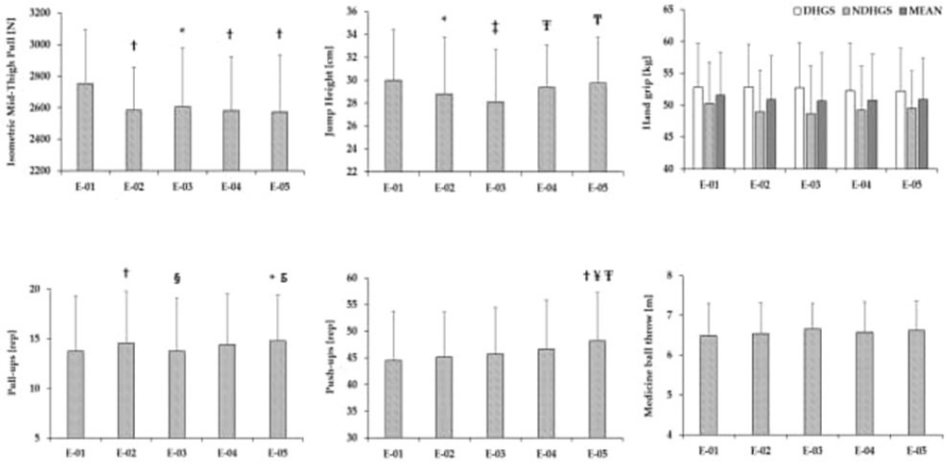


Figure A1. Neuromuscular performance variables. The following symbols indicate significant differences compared to the values: E01: * = significant difference ($p \leq 0.05$); † = significant difference ($p \leq 0.01$); ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$); E02: §= significant difference ($p \leq 0.05$); ¥ = significant difference ($p \leq 0.01$); and E03: ð = significant difference ($p \leq 0.05$); ₸ = significant difference ($p \leq 0.01$); T = significant difference ($p \leq 0.001$). Values are presented as means ± SD.

Appendix A.2

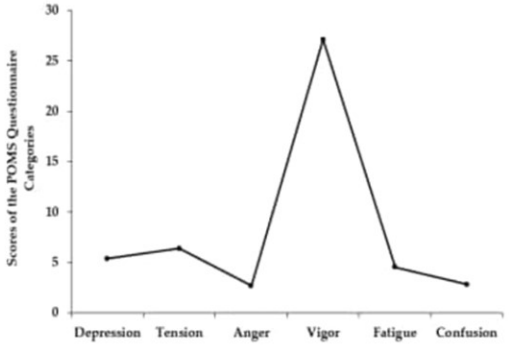


Figure A2. Iceberg Profile of the POMS Questionnaire. The values are presented as means ± SD.

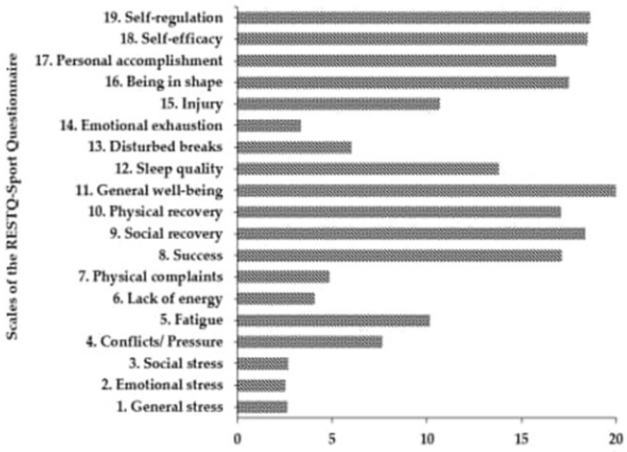


Figure A3. Scales and dimensions of the RESTQ-Sport questionnaire over 12 weeks. Values are presented as means ± SD.

Appendix A.3

Table A1. Results of performance variables at different time points.

Variables	E01	CV[1]	E02	Δ%[1]	ES[1]	CV[2]	E03	Δ%[2]	ES[2]	CV[3]	E04	Δ%[3]	ES[3]	CV[4]	E05	Δ%[4]	ES[4]	CV[5]
BM [kg]	79.01 ± 7.96	1.4	79.52 ± 7.99 *	0.7	−0.51	1.4	81.00 ± 7.99 ‡Ψ	2.5	−1.23	1.4	79.23 ± 7.61 T	0.3	−0.16	1.4	78.82 ± 7.53 ΨTΩ	−0.2	0.14	1.4
PLUmax [reps]	13.77 ± 5.52	9.1	14.54 ± 5.26 †	5.6	−0.62	8.6	13.77 ± 5.35 §	0.0	0.00	9.1	14.42 ± 5.12	4.7	−0.29	8.7	14.81 ± 4.58 *δ	7.6	−0.46	8.4
PUmax [reps]	44.50 ± 9.23	7.3	45.15 ± 8.43	1.5	−0.17	7.1	45.73 ± 8.68	2.8	−0.26	7.3	46.62 ± 9.23	4.8	−0.32	6.9	48.23 ± 9.03 †ΨT‡Φ	8.4	−0.61	6.7
MBT [m]	6.48 ± 0.81	4.4	6.54 ± 0.77	0.9	−0.13	4.3	6.66 ± 0.64	2.8	−0.42	4.2	6.58 ± 0.75	1.5	−0.26	4.3	6.62 ± 0.73	2.2	−0.27	4.3
DHGS [kg]	52.85 ± 6.90	6.0	52.81 ± 6.75	-0.1	0.01	6.0	52.71 ± 7.08	−0.3	0.03	6.0	52.28 ± 7.47	−1.1	0.10	6.1	52.21 ± 6.72	−1.2	0.10	6.1
NDHGS [kg]	50.28 ± 6.43	6.9	48.97 ± 6.47	-6.3	0.26	7.0	48.67 ± 7.54	−6.9	0.25	7.1	49.23 ± 6.93	−5.8	0.24	7.0	49.52 ± 5.91	−5.3	0.19	7.0
IMTP [N]	2732.46 ± 342.21	5.9	2584.23 ± 271.02 †	-6.1	0.64	6.3	2605.12 ± 372.69 †	−5.4	0.54	6.2	2581.96 ± 340.68 †	−6.2	0.66	6.3	2573.96 ± 360.31 †	−6.5	0.65	6.3
VJ CMJ [cm]	30.00 ± 4.45	6.0	28.78 ± 4.98 *	−4.1	0.44	6.3	29.32 ± 4.54 ‡	−6.3	0.71	6.4	29.38 ± 3.67 Ψ	−2.1	0.20	6.1	29.77 ± 3.95 T	−0.8	0.08	6.0
PP CMJ [W]	3602.35 ± 476.47	6.2	3609.31 ± 504.99	0.2	−0.03	6.2	3449.02 ± 862.03	−4.3	0.22	6.5	3583.69 ± 439.62	−0.5	0.06	6.3	3625.50 ± 431.79	0.6	−0.08	6.2
RFDEcc CMJ [N/s]	4772.62 ± 2064.86	26.3	5757.98 ± 2611.65 †	20.6	−0.69	21.8	5039.15 ± 2153.34	5.6	−0.11	24.9	5016.73 ± 1312.61	5.1	−0.14	25.1	5798.50 ± 1818.77 †Φ	21.5	−0.68	21.7
RFDCon CMJ [N/s]	1563.40 ± 1327.59	30.8	1439.46 ± 1167.51	−7.9	0.08	33.5	1526.46 ± 996.93	−2.4	0.03	31.6	1308.65 ± 926.29	−16.3	0.15	36.8	1379.58 ± 927.84	−11.8	0.15	34.9
PEcc CMJ [N]	1770.23 ± 291.65	8.5	1865.62 ± 353.98	5.4	−0.62	8.1	1866.50 ± 474.11	5.4	−0.23	8.1	1777.35 ± 239.35	0.4	−0.04	8.5	1848.38 ± 265.44	4.4	−0.47	8.2
PCon CMJ [N]	1858.15 ± 257.10	5.4	1932.92 ± 333.30 *	4.0	−0.45	5.2	1891.92 ± 249.29	1.8	−0.26	5.3	1835.19 ± 209.59 Vδ	−1.2	0.16	5.5	1900.77 ± 243.61 0	2.3	−0.29	5.3
DSI (%)	0.68 ± 0.13	-	0.75 ± 0.15	-	-	-	0.73 ± 0.14	-	-	-	0.71 ± 0.12	-	-	-	0.74 ± 0.14	-	-	-

BM: body mass; CMJ: countermovement jump; CV (%): coefficient of variation (the superscript number is linked to the evaluation number); DHGS: dominant hand grip strength; DSI (%): dynamic strength index; ES[1]: effect size E01–E02; ES[2]: effect size E01–E03; ES[3]: effect size E01–E04; ES[4]: effect size E01–E05; IMTP: isometric mid-thigh pull; MBT: Medicine ball throw; NDHGS: non-dominant hand grip strength; PCon CMJ: peak concentric force; PEcc CMJ: peak eccentric force; PP CMJ: peak power; PLUmax: pull-ups; PUmax: push-ups; RFD: rate of force development; VJ: maximum vertical jump height from take-off. Δ%[1]: percentage difference E01–E02; Δ%[2]: percentage difference E01–E03; Δ%[3]: percentage difference E01–E04; and Δ%[4]: percentage difference E01–E05. Values are presented as means ± SD. The following symbols indicate significant differences compared to the values of (A) E01: * = significant difference ($p \leq 0.05$); † = significant difference ($p \leq 0.01$); ‡ = significant difference ($p \leq 0.001$); (B) E02: § = significant difference ($p \leq 0.05$); Ψ = significant difference ($p \leq 0.01$); Ψ = significant difference ($p \leq 0.001$); (C) E03: δ = significant difference ($p \leq 0.05$); Ψ = significant difference ($p \leq 0.01$); T = significant difference ($p \leq 0.001$); and (D) E04: Φ = significant difference ($p \leq 0.05$); Ω = significant difference ($p \leq 0.01$).

Appendix A.4

Table A2. Means and standard deviations of the six studied categories of the POMS questionnaire.

Weeks	Depression Dejection	ES	Tension Anxiety	ES	Anger Hostility	ES	Vigor Activity	ES	Fatigue Inertia	ES	Confusion Bewilderment	ES	TMD	Cronbach α
1	4.07 ± 4.47	0.91	6.41 ± 4.26	1.50	2.59 ± 2.90	0.89	24.93 ± 6.92	3.60	2.63 ± 3.19	0.83	3.89 ± 2.56	1.52	156	0.89
2	3.59 ± 4.94	0.73	6.11 ± 4.99	1.22	2.00 ± 3.06	0.65	26.48 ± 7.49	3.54	2.52 ± 3.06	0.82	2.37 ± 1.94	1.22	33	0.91
3	4.70 ± 6.95	0.68	7.04 ± 4.46	1.58	3.33 ± 5.00	0.67	26.22 ± 5.47	4.80	5.15 ± 5.34	0.96	3.52 ± 2.67	1.32	233	0.89
4	5.07 ± 8.37	0.61	6.41 ± 4.49	1.43	2.56 ± 4.52	0.57	27.44 ± 5.76	4.76	5.63 ± 4.65	1.21	3.48 ± 3.34	1.04	184	0.92
5	6.37 ± 9.96	0.64	7.26 ± 5.62	1.29	2.37 ± 4.51	0.53	27.81 ± 5.67	4.91	5.59 ± 4.94	1.13	2.78 ± 2.81	0.99	207	0.92
6	6.74 ± 10.60	0.64	7.15 ± 6.50	1.10	2.78 ± 5.73	0.48	27.85 ± 5.28	5.27	5.30 ± 5.26	1.01	2.37 ± 2.62	0.91	205	0.94
7	2.70 ± 3.89	0.70	5.59 ± 3.65	1.53	1.37 ± 2.72	0.50	27.85 ± 5.33	5.22	3.67 ± 4.58	0.80	2.30 ± 2.33	0.98	-30	0.84
8	5.78 ± 9.86	0.59	6.19 ± 5.76	1.07	2.56 ± 5.02	0.51	27.89 ± 5.80	4.81	3.56 ± 4.25	0.84	2.48 ± 2.59	0.96	102	0.92
9	6.26 ± 10.01	0.63	6.11 ± 4.69	1.30	2.96 ± 4.93	0.60	26.81 ± 7.85	3.41	5.89 ± 6.00	0.98	2.70 ± 3.28	0.82	222	0.94
10	6.41 ± 10.86	0.59	6.11 ± 4.86	1.26	3.48 ± 6.42	0.54	27.48 ± 6.02	4.57	5.07 ± 6.06	0.84	3.11 ± 3.83	0.81	211	0.95
11	7.00 ± 13.90	0.50	6.33 ± 4.45	1.42	3.07 ± 6.32	0.49	27.48 ± 6.82	4.03	5.19 ± 6.11	0.85	2.96 ± 3.31	0.90	221	0.94
12	6.33 ± 13.55	0.47	5.70 ± 5.19	1.10	3.44 ± 6.83	0.50	26.93 ± 8.97	3.00	4.15 ± 5.07	0.82	2.07 ± 2.59	0.80	159	0.94
Mean	5.42 ± 9.42	0.77	6.37 ± 4.91	1.80	2.71 ± 4.96	0.70	27.10 ± 6.49	5.47	4.53 ± 5.02	1.15	2.84 ± 2.87	1.34	158.58 ± 83.06	0.92

α: Cronbach's Alpha coefficient; ES: Effect size; TMD: Total mood disturbance. Values are presented as means ± SD.

Appendix A.5

Table A3. Evolution of stress/recovery levels through the nineteen scales of the RESTQ-Sport questionnaire.

Scales	S/R	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05	E-06	E-07	E-08	E-09	E-10	E-11	E-12	Mean	ES
TS	S	5.28 ± 4.76	5.06 ± 4.77	5.68 ± 5.35	5.60 ± 5.48	5.90 ± 5.85	5.73 ± 5.59	5.04 ± 5.37	5.15 ± 5.37	6.22 ± 6.19	5.37 ± 5.84	5.45 ± 5.93	5.08 ± 6.07	5.46 ± 5.57	1.73
TR	R	18.26 ± 3.31	18.15 ± 3.89	17.59 ± 4.30	17.49 ± 4.72	17.62 ± 4.42	17.44 ± 4.55	17.99 ± 4.70	17.24 ± 5.13	17.40 ± 5.08	17.49 ± 4.95	16.84 ± 5.77	17.03 ± 6.36	17.54 ± 4.83	5.13
NSSS	S	4.83 ± 4.58	4.35 ± 4.43	5.02 ± 5.10	5.02 ± 5.25	5.38 ± 5.51	5.30 ± 5.39	4.48 ± 4.97	4.79 ± 5.11	5.57 ± 5.77	4.97 ± 5.49	4.85 ± 5.59	4.70 ± 5.84	4.94 ± 5.27	1.56
1. General stress	S	1.81 ± 2.30	1.59 ± 2.04	2.37 ± 3.80	2.52 ± 3.46	3.07 ± 3.72	3.00 ± 3.91	2.00 ± 2.90	3.22 ± 4.39	3.00 ± 4.19	2.96 ± 4.06	3.04 ± 4.69	2.93 ± 5.38	2.63 ± 3.15	0.83
2. Emotional stress	S	2.48 ± 2.82	2.11 ± 2.59	2.37 ± 3.56	2.41 ± 3.43	2.85 ± 3.30	2.63 ± 3.63	1.63 ± 2.51	3.11 ± 3.92	2.70 ± 4.06	2.89 ± 4.10	2.56 ± 3.97	2.74 ± 4.44	2.54 ± 2.94	0.86
3. Social stress	S	2.85 ± 3.25	1.89 ± 2.55	2.56 ± 3.83	2.70 ± 3.53	2.26 ± 3.03	3.44 ± 4.60	2.37 ± 3.21	2.85 ± 3.74	2.74 ± 4.39	2.89 ± 3.88	2.41 ± 4.20	3.11 ± 5.55	2.67 ± 3.09	0.86
4. Conflicts/ Pressure	S	8.37 ± 4.34	7.22 ± 4.70	7.56 ± 3.92	7.63 ± 4.04	8.22 ± 5.32	8.52 ± 5.54	7.19 ± 5.51	8.04 ± 4.82	7.33 ± 5.51	7.30 ± 5.21	7.67 ± 5.62	6.74 ± 5.41	7.65 ± 4.00	1.91
5. Fatigue	S	9.11 ± 5.54	9.81 ± 5.09	11.26 ± 5.40	11.30 ± 6.60	11.00 ± 6.67	10.26 ± 6.28	10.33 ± 6.04	8.96 ± 6.47	11.63 ± 6.12	9.41 ± 6.59	9.93 ± 6.98	8.74 ± 6.57	10.15 ± 4.95	2.05
6. Lack of energy	S	4.63 ± 3.86	3.59 ± 2.53	4.07 ± 3.95	3.67 ± 4.08	4.48 ± 4.81	4.07 ± 4.15	3.93 ± 3.71	3.48 ± 4.35	4.67 ± 4.71	4.30 ± 5.57	4.00 ± 4.44	4.11 ± 5.13	4.08 ± 3.51	1.16
7. Physical complaints	S	4.56 ± 3.45	4.22 ± 3.21	4.93 ± 4.19	4.89 ± 4.20	5.74 ± 5.03	5.19 ± 4.32	3.93 ± 3.12	3.85 ± 3.90	6.89 ± 5.47	5.07 ± 5.31	4.33 ± 4.42	4.56 ± 6.08	4.85 ± 3.36	1.44
NSSR	R	18.27 ± 3.66	17.66 ± 4.23	17.30 ± 4.45	17.16 ± 5.05	17.31 ± 4.55	17.01 ± 4.69	17.61 ± 4.79	17.21 ± 4.93	17.18 ± 4.90	17.26 ± 5.02	16.60 ± 5.57	16.78 ± 6.36	17.28 ± 4.89	5.14
8. Success	R	17.78 ± 2.95	16.96 ± 4.00	17.41 ± 4.26	17.04 ± 4.71	17.15 ± 4.04	16.78 ± 4.87	18.11 ± 4.40	16.63 ± 5.64	17.44 ± 4.81	16.63 ± 5.00	17.07 ± 5.45	16.74 ± 6.20	17.15 ± 3.98	4.31
9. Social recovery	R	19.93 ± 3.26	19.11 ± 3.86	17.22 ± 4.44	18.33 ± 5.20	18.44 ± 5.03	17.74 ± 4.92	18.89 ± 4.36	18.26 ± 4.55	18.33 ± 5.26	18.85 ± 4.58	17.41 ± 5.58	18.22 ± 6.34	18.39 ± 4.13	4.45
10. Physical recovery	R	18.30 ± 3.01	17.67 ± 3.59	17.11 ± 3.97	16.74 ± 5.07	17.30 ± 4.47	17.26 ± 4.25	17.78 ± 4.41	17.44 ± 4.92	16.26 ± 4.75	16.85 ± 4.66	16.19 ± 5.19	16.22 ± 6.83	17.09 ± 3.74	4.57
11. General well-being	R	20.78 ± 2.38	20.37 ± 3.52	20.63 ± 3.98	20.11 ± 4.03	20.04 ± 3.50	19.67 ± 3.86	19.85 ± 4.36	19.85 ± 4.12	19.81 ± 4.50	19.85 ± 5.04	19.41 ± 5.32	19.41 ± 6.13	19.98 ± 3.58	5.58
12. Sleep quality	R	14.59 ± 3.39	14.19 ± 3.61	14.11 ± 3.24	13.59 ± 4.06	13.63 ± 3.12	13.59 ± 3.49	13.44 ± 4.03	13.89 ± 3.36	14.04 ± 3.20	14.11 ± 4.06	12.93 ± 4.55	13.30 ± 4.85	13.78 ± 2.84	4.86
SSS	S	6.32 ± 5.04	6.72 ± 5.14	7.22 ± 4.63	6.95 ± 5.78	7.11 ± 6.45	6.77 ± 5.95	6.33 ± 6.03	5.99 ± 5.88	7.74 ± 6.87	6.30 ± 6.54	6.85 ± 6.47	5.95 ± 6.53	6.69 ± 6.04	1.84
13. Disturbed breaks	S	6.00 ± 3.86	6.48 ± 3.84	7.19 ± 4.88	7.07 ± 5.07	6.15 ± 5.27	5.30 ± 4.37	5.67 ± 4.84	4.48 ± 4.65	6.93 ± 6.00	5.15 ± 5.25	6.74 ± 5.76	5.19 ± 5.66	6.03 ± 3.98	1.52
14. Emotional exhaustion	S	3.19 ± 3.36	2.74 ± 2.88	4.19 ± 4.58	3.15 ± 3.48	4.22 ± 4.97	3.04 ± 3.95	2.74 ± 4.07	3.93 ± 5.55	3.67 ± 4.82	3.44 ± 5.12	2.85 ± 4.34	3.00 ± 4.56	3.35 ± 3.53	0.95
15. Injury	S	9.78 ± 5.40	10.93 ± 4.85	10.30 ± 5.76	10.63 ± 5.99	10.96 ± 7.11	11.96 ± 5.42	10.59 ± 6.25	9.56 ± 5.81	12.63 ± 6.58	10.30 ± 7.16	10.96 ± 6.53	9.67 ± 7.37	10.69 ± 5.17	2.07
SSR	R	18.24 ± 2.82	18.76 ± 3.34	17.95 ± 4.10	17.90 ± 4.26	18.00 ± 4.24	17.97 ± 4.34	18.45 ± 4.56	17.28 ± 5.39	17.68 ± 5.31	17.79 ± 4.86	17.13 ± 6.02	17.34 ± 6.37	17.87 ± 4.74	4.96
16. Being in shape	R	18.52 ± 2.95	18.22 ± 3.21	17.41 ± 4.02	17.74 ± 4.17	17.11 ± 4.06	17.37 ± 3.90	18.67 ± 4.36	16.85 ± 5.63	17.26 ± 5.04	17.15 ± 4.87	16.67 ± 5.20	17.19 ± 6.47	17.51 ± 3.60	4.86
17. Personal accomplishment	R	16.81 ± 2.95	17.70 ± 3.44	17.15 ± 4.40	16.93 ± 4.68	17.22 ± 4.35	17.22 ± 4.79	16.96 ± 4.92	16.74 ± 5.08	15.78 ± 5.80	16.74 ± 4.87	16.59 ± 6.90	16.22 ± 6.65	16.84 ± 4.08	4.13
18. Self-efficacy	R	19.00 ± 2.51	19.19 ± 3.37	18.85 ± 3.56	18.33 ± 3.96	18.59 ± 3.92	18.37 ± 4.16	19.07 ± 4.31	17.85 ± 5.52	18.41 ± 4.98	18.59 ± 4.50	17.78 ± 5.04	17.81 ± 6.45	18.49 ± 3.48	5.31
19. Self-regulation	R	18.63 ± 2.47	19.93 ± 3.06	18.41 ± 4.37	18.59 ± 4.23	19.07 ± 4.51	18.93 ± 4.45	19.11 ± 4.55	17.67 ± 5.55	19.26 ± 4.99	18.67 ± 5.12	17.48 ± 6.95	18.15 ± 6.09	18.66 ± 3.99	4.68
Cronbach α		0.87	0.82	0.85	0.84	0.79	0.81	0.83	0.82	0.87	0.81	0.87	0.93	0.84	.

α: Cronbach's Alpha coefficient; E: Evaluation; ES: Effect size; NSSR: Non-sport-specific recovery; NSSS: Non-sport-specific stress; R: Recovery; S: Stress; SSR: Sport-specific recovery; SSS: Sport-specific stress; TR: Total recovery; TS: Total stress; Values are presented as means ± SD.

Appendix A.6

Table A4. Pearson correlations between the 19 scales of the RESTQ-Sport questionnaire and the 6 categories of the POMS questionnaire.

RESTQ-Sport Scales	S/R	POMS Categories					
		Depression Dejection	Tension Anxiety	Anger Hostility	Vigor Activity	Fatigue Inertia	Confusion Bewilderment
TS	S	0.79 ‡	0.83 ‡	0.74 ‡	−0.60 ‡	0.89 ‡	0.42 δ
TR	R	−0.80 ‡	−0.55 †	−0.73 ‡	0.90 ‡	−0.56 †	−0.56 †
NSSS	S	0.84 ‡	0.84 ‡	0.80 ‡	−0.65 ‡	0.84 ‡	0.44 δ
1. General stress	S	0.89 ‡	0.82 ‡	0.82 ‡	−0.72 ‡	0.80 ‡	0.46 δ

Table A4. *Cont.*

RESTQ-Sport Scales	S/R	POMS Categories					
		Depression Dejection	Tension Anxiety	Anger Hostility	Vigor Activity	Fatigue Inertia	Confusion Bewilderment
2. Emotional stress	S	0.93 ‡	0.83 ‡	0.93 ‡	−0.73 ‡	0.70 ‡	0.54 †
3. Social stress	S	0.90 ‡	0.73 ‡	0.92 ‡	−0.73 ‡	0.64 ‡	0.52 †
4. Conflicts/ Pressure	S	0.56 †	0.64 ‡	0.48 δ	−0.41 δ	0.51 †	0.09
5. Fatigue	S	0.51 †	0.64 ‡	0.48 δ	−0.34	0.82 ‡	0.27
6. Lack of energy	S	0.85 ‡	0.84 ‡	0.79 ‡	−0.71 ‡	0.80 ‡	0.48 δ
7. Physical complaints	S	0.75 ‡	0.75 ‡	0.71 ‡	−0.57 †	0.91 ‡	0.48 δ
NSSR	R	−0.81 ‡	−0.55 †	−0.75 ‡	0.89 ‡	−0.53 †	−0.50 †
8. Success	R	−0.72 ‡	−0.50 †	−0.62 ‡	0.86 ‡	−0.50 †	−0.55 †
9. Social recovery	R	−0.77 ‡	−0.46 δ	−0.75 ‡	0.85 ‡	−0.36	−0.41 δ
10. Physical recovery	R	−0.78 ‡	−0.60 ‡	−0.71 ‡	0.84 ‡	−0.68 ‡	−0.47 δ
11. General well-being	R	−0.85 ‡	−0.54 †	−0.83 ‡	0.89 ‡	−0.46 δ	−0.54 †
12. Sleep quality	R	−0.55 †	−0.39 δ	−0.47 δ	0.61 ‡	−0.43 δ	−0.31
SSS	S	0.72 ‡	0.80 ‡	0.68 ‡	-0.54 †	0.91 ‡	0.40 δ
13. Disturbed breaks	S	0.74 ‡	0.72 ‡	0.74 ‡	−0.59 ‡	0.86 ‡	0.48 δ
14. Emotional exhaustion	S	0.89 ‡	0.84 ‡	0.81 ‡	−0.74 ‡	0.77 ‡	0.51 †
15. Injury	S	0.36	0.56 †	0.31	−0.17	0.73 ‡	0.14
SSR	R	−0.78 ‡	−0.53 †	−0.69 ‡	0.88 ‡	−0.57 †	−0.60 ‡
16. Being in shape	R	−0.77 ‡	−0.61 ‡	−0.67 ‡	0.81 ‡	−0.72 ‡	−0.53 †
17. Personal accomplishment	R	−0.68 ‡	−0.39 δ	−0.63 ‡	0.84 ‡	−0.44 δ	−0.55 †
18. Self-efficacy	R	−0.78 ‡	−0.55 †	−0.71 ‡	0.86 ‡	−0.54 †	−0.65 ‡
19. Self-regulation	R	−0.74 ‡	−0.49 †	−0.63 ‡	0.86 ‡	−0.50 †	−0.54 †

E: Evaluation; ES: Effect size; NSSR: Non-sport-specific recovery; NSSS: Non-sport-specific stress; R: Recovery; S: Stress; SSR: Sport-specific recovery; SSS: Sport-specific stress; TR: Total recovery; TS: Total stress; Values are presented as means ± SD The following symbol indicates: δ = significant correlation ($p \leq 0.05$); † = significant correlation ($p \leq 0.01$); ‡ = significant correlation ($p \leq 0.001$).

References

1. Kyröläinen, H.; Pihlainen, K.; Vaara, J.P.; Ojanen, T.; Santtila, M. Optimising training adaptations and performance in military environment. *J. Sci. Med. Sport* **2018**, *21*, 1131–1138. [CrossRef]
2. de Visser, E.J.; Dorfman, A.; Chartrand, D.; Lamon, J.; Freedy, E.; Weltman, G. Building resilience with the Stress Resilience Training System: Design validation and applications. *Work* **2016**, *54*, 351–366. [CrossRef]
3. Szivak, T.K.; Kraemer, W.J. Physiological Readiness and Resilience: Pillars of Military Preparedness. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, S34–S39. [CrossRef]
4. Nindl, B.C.; Alvar, B.A.; R Dudley, J.; Favre, M.W.; Martin, G.J.; Sharp, M.A.; Warr, B.J.; Stephenson, M.D.; Kraemer, W.J. Executive Summary From the National Strength and Conditioning Association's Second Blue Ribbon Panel on Military Physical Readiness: Military Physical Performance Testing. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, S216–S220. [CrossRef]
5. Cáceres-Diego, B.; Alcaraz, P.E.; Marín-Pagán, C. Neuromuscular Responses to 5 K Time Trial Load Carried by Spanish Army Marines. *Sports* **2025**, *13*, 129. [CrossRef]
6. Cáceres-Diego, B.; Marín-Pagán, C.; Martínez de Baños, P.; Alcaraz, P.E. Effects of a 30 K Military Loaded Carriage on the Neuromuscular System in Spanish Army Marines. *Sports* **2025**, *13*, 76. [CrossRef] [PubMed]
7. Tornero-Aguilera, J.F.; Robles-Pérez, J.J.; Clemente-Suárez, V.J. Effect of Combat Stress in the Psychophysiological Response of Elite and Non-Elite Soldiers. *J. Med. Syst.* **2017**, *41*, 100. [CrossRef]
8. Tait, J.L.; Drain, J.R.; Corrigan, S.L.; Drake, J.M.; Main, L.C. Impact of military training stress on hormone response and recovery. *PLoS ONE* **2022**, *17*, e0265121. [CrossRef] [PubMed]
9. Jensen, A.E.; Bernards, J.R.; Jameson, J.T.; Johnson, D.C.; Kelly, K.R. The Benefit of Mental Skills Training on Performance and Stress Response in Military Personnel. *Front. Psychol.* **2019**, *10*, 2964. [CrossRef] [PubMed]
10. Thomas, M.L.; Russo, M.B. Neurocognitive monitors: Toward the prevention of cognitive performance decrements and catastrophic failures in the operational environment. *Aviat. Space Environ. Med.* **2007**, *78*, B144–B152.
11. Taylor, M.K.; Sausen, K.P.; Mujica-Parodi, L.R.; Potterat, E.G.; Yanagi, M.A.; Kim, H. Neurophysiologic methods to measure stress during survival, evasion, resistance, and escape training. *Aviat. Space Environ. Med.* **2007**, *78*, B224–B230.
12. Bustamante-Sánchez, Á.; Tornero-Aguilera, J.F.; Fernández-Elías, V.E.; Hormeño-Holgado, A.J.; Dalamitros, A.A.; Clemente-Suárez, V.J. Effect of Stress on Autonomic and Cardiovascular Systems in Military Population: A Systematic Review. *Cardiol. Res. Pract.* **2020**, *2020*, 7986249. [CrossRef]
13. Passi, T.; Lukander, K.; Laarni, J.; Närväinen, J.; Rissanen, J.; Vaara, J.P.; Pihlainen, K.; Kallinen, K.; Ojanen, T.; Mauno, S.; et al. Effects of overnight military training and acute battle stress on the cognitive performance of soldiers in simulated urban combat. *Front. Psychol.* **2022**, *13*, 925157. [CrossRef]
14. Kettunen, O.; Kyröläinen, H.; Santtila, M.; Vuorimaa, T.; Vasankari, T.J. Greater levels of cardiorespiratory and muscular fitness are associated with low stress and high mental resources in normal but not overweight men. *BMC Public Health* **2016**, *16*, 788. [CrossRef]
15. Conkright, W.R.; Beckner, M.E.; Sinnott, A.M.; Eagle, S.R.; Martin, B.J.; Lagoy, A.D.; Proessl, F.; Lovalekar, M.; Doyle, T.L.; Agostinelli, P.; et al. Neuromuscular Performance and Hormonal Responses to Military Operational Stress in Men and Women. *J. Strength Cond. Res.* **2021**, *35*, 1296–1305. [CrossRef]
16. Beckner, M.E.; Conkright, W.R.; Eagle, S.R.; Martin, B.J.; Sinnott, A.M.; LaGoy, A.D.; Proessl, F.; Lovalekar, M.; Jabloner, L.R.; Roma, P.G.; et al. Impact of simulated military operational stress on executive function relative to trait resilience, aerobic fitness, and neuroendocrine biomarkers. *Physiol. Behav.* **2021**, *236*, 113413. [CrossRef]
17. Szivak, T.K.; Lee, E.C.; Saenz, C.; Flanagan, S.D.; Focht, B.C.; Volek, J.S.; Maresh, C.M.; Kraemer, W.J. Adrenal Stress and Physical Performance During Military Survival Training. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* **2018**, *89*, 99–107. [CrossRef]
18. Taylor, M.K.; Markham, A.E.; Reis, J.P.; Padilla, G.A.; Potterat, E.G.; Drummond, S.P.A.; Mujica-Parodi, L.R. Physical fitness influences stress reactions to extreme military training. *Mil. Med.* **2008**, *173*, 738–742. [CrossRef] [PubMed]
19. Kraemer, W.J.; Szivak, T.K. Strength training for the warfighter. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, S107–S118. [CrossRef] [PubMed]
20. Kraemer, W.J.; Ratamess, N.A.; Flanagan, S.D.; Shurley, J.P.; Todd, J.S.; Todd, T.C. Understanding the Science of Resistance Training: An Evolutionary Perspective. *Sports Med.* **2017**, *47*, 2415–2435. [CrossRef] [PubMed]
21. Friedl, K.E.; Knapik, J.J.; Häkkinen, K.; Baumgartner, N.; Groeller, H.; Taylor, N.A.S.; Duarte, A.F.; Kyröläinen, H.; Jones, B.H.; Kraemer, W.J.; et al. Perspectives on Aerobic and Strength Influences on Military Physical Readiness: Report of an International Military Physiology Roundtable. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, S10–S23. [CrossRef] [PubMed]
22. Abt, J.P.; Oliver, J.M.; Nagai, T.; Sell, T.C.; Lovalekar, M.T.; Beals, K.; Wood, D.E.; Lephart, S.M. Block-Periodized Training Improves Physiological and Tactically Relevant Performance in Naval Special Warfare Operators. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 39–52. [CrossRef] [PubMed]
23. Vantarakis, A.; Chatzinikolaou, A.; Avloniti, A.; Vezos, N.; Douroudos, I.I.; Draganidis, D.; Jamurtas, A.Z.; Kambas, A.; Kalligeros, S.; Fatouros, I.G. A 2-Month Linear Periodized Resistance Exercise Training Improved Musculoskeletal Fitness and Specific Conditioning of Navy Cadets. *J. Strength Cond. Res.* **2017**, *31*, 1362–1370. [CrossRef]

24. Heilbronn, B.E.; Doma, K.; Gormann, D.; Schumann, M.; Sinclair, W.H. Effects of Periodized vs. Nonperiodized Resistance Training on Army-Specific Fitness and Skills Performance. *J. Strength Cond. Res.* **2020**, *34*, 738–753. [CrossRef] [PubMed]
25. Vrijkotte, S.; Roelands, B.; Pattyn, N.; Meeusen, R. The Overtraining Syndrome in Soldiers: Insights from the Sports Domain. *Mil. Med.* **2019**, *184*, e192–e200. [CrossRef]
26. Rosendal, L.; Langberg, H.; Skov-Jensen, A.; Kjaer, M. Incidence of injury and physical performance adaptations during military training. *Clin. J. Sport. Med.* **2003**, *13*, 157–163. [CrossRef]
27. Nikolaidis, P.T.; Papaioannou, K.G.; Rosemann, T.; Knechtle, B. Exercise Testing of Muscle Strength in Military. *Mil. Med.* **2019**, *184*, e426–e430. [CrossRef]
28. Merrigan, J.J.; Stone, J.D.; Thompson, A.G.; Hornsby, W.G.; Hagen, J.A. Monitoring Neuromuscular Performance in Military Personnel. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 9147. [CrossRef]
29. McNair, D.M.; Lorr, M.; Droppleman, L.F. *Manual for the Profile of Mood States*; Educational and Industrial Testing Services: San Diego, CA, USA, 1971.
30. Kellmann, M.; Kallus, K.W. *Der Erholungs-Belastungsfragebogen für Sportler (EBF-Sport)—Manual [Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. Manual]*; Swets Test Service: Frankfurt, Germany, 2000.
31. McDonald, D.G.; Norton, J.P.; Hodgdon, J.A. Training success in U.S. Navy special forces. *Aviat. Space Environ. Med.* **1990**, *61*, 548–554.
32. Knapik, J.; Staab, J.; Bahrke, M.; Reynolds, K.; Vogel, J.; O'Connor, J. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. *Mil. Med.* **1991**, *156*, 197–200. [CrossRef]
33. McNair, D.M.; Lorr, M.; Droppleman, L.F. *Revised Manual for the Profile of Mood States*; Educational and Industrial Testing Services: San Diego, CA, USA, 1992.
34. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* **2013**, *310*, 2191–2194. [CrossRef]
35. Markovic, G.; Dizdar, D.; Jukic, I.; Cardinale, M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 551–555.
36. Hébert-Losier, K.; Beaven, C.M. The MARS for squat, countermovement, and standing long jump performance analyses: Are measures reproducible? *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 1849–1857. [CrossRef]
37. Grgic, J.; Scapec, B.; Mikulic, P.; Pedisic, Z. Test-retest reliability of isometric mid-thigh pull maximum strength assessment: A systematic review. *Biol. Sport* **2022**, *39*, 407–414. [CrossRef]
38. Sheppard, J.M.; Chapman, D.; Taylor, K.L. An Evaluation of a Strength Qualities Assessment Method for the Lower Body. *JASC* **2011**, *19*, 4–10.
39. Leyk, D.; Gorges, W.; Ridder, D.; Wunderlich, M.; Rüther, T.; Sievert, A.; Essfeld, D. Hand-grip strength of young men, women and highly trained female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2007**, *99*, 415–421. [CrossRef]
40. Canino, M.C.; Foulis, S.A.; Zambraski, E.J.; Cohen, B.S.; Redmond, J.E.; Hauret, K.G.; Frykman, P.N.; Sharp, M.A. U.S. Army Physical Demands Study: Differences in Physical Fitness and Occupational Task Performance Between Trainees and Active Duty Soldiers. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 1864–1870. [CrossRef] [PubMed]
41. Hauschild, V.D.; DeGroot, D.W.; Hall, S.M.; Grier, T.L.; Deaver, K.D.; Hauret, K.G.; Hauret, K.G.; Jones, B.H. Fitness tests and occupational tasks of military interest: A systematic review of correlations. *Occup. Environ. Med.* **2017**, *74*, 144–153. [CrossRef] [PubMed]
42. Sanchez-Moreno, M.; Pareja-Blanco, F.; Diaz-Cueli, D.; González-Badillo, J.J. Determinant factors of pull-up performance in trained athletes. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2016**, *56*, 825–833.
43. Vanderburgh, P.M.; Edmonds, T. The Effect of Experimental Alterations in Excess Mass on Pull-up Performance in Fit Young Men. *J. Strength Cond. Res.* **1997**, *11*, 230–233.
44. Mayhew, J.L.; Ball, T.E.; Arnold, M.D.; Bowen, J.C. Push-ups As a Measure of Upper Body Strength. *J. Strength Cond. Res.* **1991**, *5*, 16.
45. Knapik, J.J.; Sharp, M.A.; Darakjy, S.; Jones, S.B.; Hauret, K.G.; Jones, B.H. Temporal changes in the physical fitness of US Army recruits. *Sports Med.* **2006**, *36*, 613–634. [CrossRef]
46. Aandstad, A. Association Between Performance in Muscle Fitness Field Tests and Skeletal Muscle Mass in Soldiers. *Mil. Med.* **2020**, *185*, e839–e846. [CrossRef]
47. Aandstad, A. Temporal changes in physical fitness in Norwegian male and female military conscripts between 2006 and 2020. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2023**, *33*, 36–46. [CrossRef] [PubMed]
48. Andrade Fernández, E.; Arce Fernández, C.; Seoane Pesqueira, G. Adaptación al español del cuestionario «perfil de los estados de ánimo» en una muestra de deportistas. *Psicothema* **2002**, *14*, 708–713.
49. Arce, C.; Andrade, E.M.; Seoane, G. Problemas semánticos en la adaptación del POMS al castellano. *Psicothema* **2000**, *12*, S47–S51.
50. Balaguer Solá, I.; Fuentes, I.; Meliá Navarro, J.L.; García Merita, M.L.; Pérez Recio, G. El perfil de los estados de ánimo (POMS): Baremo para estudiantes valencianos y su aplicación en el contexto deportivo. *Revista de Psicología del Deporte* **1993**, *2*, 39–52.

51. González-Boto, R.; Salguero, A.; Tuero, C.; Márquez, S.; Kellmann, M. Spanish adaptation and analysis by structural equation modeling of an instrument for monitoring overtraining: The recovery-stress questionnaire (RESTQ-sport). *SBP J.* **2008**, *36*, 635–649. [CrossRef]
52. Kellmann, M.; Kallus, K.W. "The Recovery-Stress Questionnaire for Athletes," in The Recovery-Stress Questionnaires. In *User Manual*; Kallus, K.W., Kellmann, M., Eds.; Pearson: Frankfurt, Germany, 2016; pp. 86–131.
53. Cronbach, L.J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* **1951**, *16*, 297–334. [CrossRef]
54. Batterham, A.M.; Hopkins, W.G. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2006**, *1*, 50–57. [CrossRef] [PubMed]
55. Hopkins, W.G. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* **2000**, *30*, 1–15. [CrossRef]
56. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ, USA, 1988; p. 567.
57. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–13. [CrossRef]
58. Bergeron, M.F.; Nindl, B.C.; Deuster, P.A.; Baumgartner, N.; Kane, S.F.; Kraemer, W.J.; Sexauer, L.R.; Thompson, W.R.; O'COnnor, F.G. Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine consensus paper on extreme conditioning programs in military personnel. *Curr. Sports Med. Rep.* **2011**, *10*, 383–389. [CrossRef]
59. Santtila, M.; Kyröläinen, H.; Häkkinen, K. Changes in maximal and explosive strength, electromyography, and muscle thickness of lower and upper extremities induced by combined strength and endurance training in soldiers. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1300–1308. [CrossRef]
60. Knapik, J.J.; Rieger, W.; Palkoska, F.; Van Camp, S.; Darakjy, S. United States Army physical readiness training: Rationale and evaluation of the physical training doctrine. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1353–1362. [CrossRef]
61. Armstrong, L.E.; Bergeron, M.F.; Lee, E.C.; Mershon, J.E.; Armstrong, E.M. Overtraining Syndrome as a Complex Systems Phenomenon. *Front. Netw. Physiol.* **2022**, *1*, 794392. [CrossRef]
62. Corrigan, S.L.; Bulmer, S.; Roberts, S.S.H.; Warmington, S.; Drain, J.; Main, L.C. Monitoring Responses to Basic Military Training with Heart Rate Variability. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2022**, *54*, 1506–1514. [CrossRef]
63. Bustos, D.; Guedes, J.C.; Vaz, M.P.; Pombo, E.; Fernandes, R.J.; Costa, J.T.; Baptista, J.S. Non-Invasive Physiological Monitoring for Physical Exertion and Fatigue Assessment in Military Personnel: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* **2021**, *18*, 8815. [CrossRef]
64. González Boto, R.; Salguero del Valle, A.; Tuero del Prado, C.; Márquez, S. Validez concurrente de la versión española del cuestionario de recuperación-estrés para deportistas (RESTQ-Sport). *Revista de Psicología del Deporte* **2009**, *18*, 53–72.
65. Reynoso-Sánchez, L.F.; Pérez-Verduzco, G.; Celestino-Sánchez, M.Á.; López-Walle, J.M.; Zamarripa, J.; Rangel-Colmenero, B.R.; Muñoz-Helú, H.; Hernández-Cruz, G. Competitive Recovery-Stress and Mood States in Mexican Youth Athletes. *Front. Psychol.* **2020**, *11*, 627828. [CrossRef] [PubMed]
66. Vaara, J.P.; Groeller, H.; Drain, J.; Kyröläinen, H.; Pihlainen, K.; Ojanen, T.; Connaboy, C.; Santtila, M.; Agostinelli, P.; Nindl, B.C. Physical training considerations for optimizing performance in essential military tasks. *Eur. J. Sport. Sci.* **2022**, *22*, 43–57. [CrossRef] [PubMed]
67. Smith, E.N.; Young, M.D.; Crum, A.J. Stress, Mindsets, and Success in Navy SEALs Special Warfare Training. *Front. Psychol.* **2019**, *10*, 2962. [CrossRef]
68. Gibson, N.; Drain, J.R.; Larsen, P.; Michael, S.; Groeller, H.; Sampson, J.A. A Comprehensive Analysis of Injuries During Army Basic Military Training. *Mil. Med.* **2024**, *189*, 652–660. [CrossRef]
69. de Lira, C.A.B.; Morais, N.S.; Menezes, V.A.; Andrade, M.S.; Vancini, R.L.; Braz, A.G.; Malysz, T. Identifying mood disorders and health-related quality of life of individuals submitted to mandatory military service. *Acta Neuropsychiatr.* **2021**, *33*, 9–14. [CrossRef]
70. Knapik, J.J.; Johnson, R.F.; Ang, P.; Meiselman, H.L.; Bensel, C.K.; Johnson, W.; Flynn, B.; Hanlon, W.; Kirk, J.; Harman, E.; et al. *Road March Performance of Special Operations Soldiers Carrying Various Loads and Load Distributions*; Technical Report: T14–93; US Army Research Institute of Environmental Medicine: Natick, MA, USA, 1993.
71. Gnacinski, S.L.; Meyer, B.B.; Wahl, C.A. Psychometric Properties of the RESTQ-Sport-36 in a Collegiate Student-Athlete Population. *Front. Psychol.* **2021**, *12*, 671919. [CrossRef] [PubMed]
72. Flanagan, S.C.; Kotwal, R.S.; Forsten, R.D. Preparing soldiers for the stress of combat. *J. Spec. Oper. Med.* **2012**, *12*, 33–41. [CrossRef] [PubMed]
73. Clemente-Suarez, V.J.; Palomera, P.R.; Robles-Pérez, J.J. Psychophysiological response to acute-high-stress combat situations in professional soldiers. *Stress Health* **2018**, *34*, 247–252. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

(Página dejada intencionalmente en blanco)