



**Brújula. Semilleros de Investigación**

Volumen 9, Número 17, enero-junio, 2021. pp. 68-81

Bogotá D. C., Colombia

ISSN 2346-0628 (en línea)

<https://doi.org/10.21830/23460628.87>

**CULTURA FÍSICA Y DEPORTE**

## **Perfil neuromuscular del tren inferior en cadetes que realizan curso paracaidismo militar**

Jorge Eduardo Barreto Triana

Jana Isabel Cruz Rivas

Yeferson Andrés Hernández Ríos

Jenner Rodrigo Cubides Amézquita

*Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”*

### **RESUMEN**

Algunos estudios han mostrado una tasa de lesión en miembros inferiores de 2 por cada 1000 saltos realizados en el paracaidismo militar. Por tal razón, se requiere una buena estabilidad de rodilla y tobillo, con una adecuada distribución de las cargas y energía cinética en el momento del contacto con el suelo. El objetivo del presente artículo es identificar los efectos del curso de paracaidismo militar en el acondicionamiento neuromuscular del tren inferior. La metodología utilizada en el estudio es observacional-descriptiva, e incluye la evaluación de 40 cadetes de género masculino mediante test de salto contramovimiento (CMJ). Los resultados revelan cambios en el acondicionamiento neuromuscular que se podrían deber a fatiga muscular o modificación propios del entrenamiento recibidos en el curso.

### **PALABRAS CLAVE**

Acondicionamiento; militar; neuromuscular; paracaidismo; tren inferior.

### **CITACIÓN**

Barreto, J., Cruz, J.; Hernández, Y. & Cubides, J. (2021). Perfil neuromuscular del tren inferior en cadetes que realizan curso paracaidismo militar. *Revista Brújula de Investigación*, 9(17). 68-81. <https://doi.org/10.21830/23460628.87>

Recibido: 3 de febrero de 2021

Aceptado: 4 de mayo de 2021

Contacto: Jenner Rodrigo Cubides Amézquita ✉ [jenner.cubides@esmic.edu.co](mailto:jenner.cubides@esmic.edu.co)



## Introducción

En el medio militar el acondicionamiento físico es uno de los determinantes que pueden mejorar la supervivencia del individuo. A este respecto, los atletas tácticos más antiguos son los soldados de infantería, cuyas tareas ofensivas y defensivas esenciales han cambiado con el paso del tiempo. Todas las unidades de infantería han tenido la misma misión y un entrenamiento similar, sin embargo, los mecanismos utilizados por estas unidades para arribar al campo de operaciones han variado. Así, dependiendo de las condiciones tácticas, la infantería liviana llega generalmente a pie, la infantería mecanizada lo hace en vehículos blindados, la infantería de asalto aéreo acude mediante el uso de aeronaves de ala rotatoria, mientras que la infantería aerotransportada llega en paracaídas, saltando desde una aeronave. Cada una de estas maneras de ingresar a la zona de operaciones requiere condiciones especiales de entrenamiento (English, 1994).

En el Ejército de Colombia, el entrenamiento básico necesario para poder realizar un salto en paracaídas de línea estática desde una aeronave requiere la realización de un curso de 4 semanas, que se especializa en la adquisición de los conocimientos y destrezas necesarias para operar este tipo de paracaídas tanto en la aeronave como en el momento del salto, teniendo en cuenta los procedimientos necesarios para terminar con éxito del aterrizaje en la superficie terrestre. Es por esto que el curso de paracaidismo militar se centra en el mejoramiento del acondicionamiento físico del alumno, lo que le permite a este realizar las tareas necesarias para completar de manera satisfactoria, y sin lesionarse, el salto desde la aeronave hasta tener contacto con la superficie terrestre.

El paracaidismo es una actividad que, por su alto grado de dificultad, exige que los solda-

dos que realicen este ejercicio tengan un óptimo rendimiento físico, especialmente en la fuerza del tren inferior, por ser este el más implicado en el frenado y la descomposición de la fuerza de aterrizaje al caer en tierra firme (Niu, 2010). Tradicionalmente, el paracaidismo se ha considerado un ejercicio peligroso que presenta varios desenlaces de lesiones por su práctica, especialmente en la primera fase de inducción al curso, donde los militares deben aprender las diferentes técnicas que existen para realizar el salto (Knapik 2003; Xie 2004).

## Marco teórico

Los diferentes ambientes en los cuales los militares deben realizar los saltos resultan determinantes a la hora de medir los factores de riesgo de lesión. Debido a esto, los paracaidistas tendrán que exponerse a terrenos tanto a la luz de día como en horarios nocturnos, donde pueden presentar un mayor riesgo de lesión, ya sea por factores de visibilidad, tiempo o del terreno sobre el cual aterrizarán. En un estudio realizado en 1975, se encontró que los saltos en condiciones fáciles presentan una tasa de lesión de 2,2 veces por cada 1000 saltos, sin embargo, en saltos que presentan un mayor grado de dificultad la tasa aumentó a 25,7 veces por cada 1000 saltos realizados (Farrow 1992). Las investigaciones sobre este fenómeno empezaron a mediados del siglo XX, cuando se evidenció un alto grado de lesiones, especialmente en el tren inferior, y se determinaron los riesgos de lesión por cada 1000 saltos.

Estudios realizados a principios del siglo XXI, encontraron que una de las lesiones más frecuentes registradas fue el esguince de tobillo, seguido por las fracturas en los huesos que componen el tren inferior, donde se estableció que la tasa de lesiones era de 11,3 veces por cada 1000 saltos (Ekeland, 1997). Así mismo,



se encontró que las lesiones aumentaban considerablemente con la edad, posiblemente por las características elásticas de los tejidos en los jóvenes al momento de descomponer la fuerza en el aterrizaje, lo que aumenta la absorción de los impactos. Esta afirmación fue corroborada por estudios previos donde reclutas que cursaban el curso de paracaidismo, con una edad promedio de 19 años, tuvieron una tasa baja de lesiones (Ekland, 1997).

Cabe mencionar que varias de las lesiones registradas se debieron a fallas en la ejecución técnica y, posiblemente, al estrés generado en el tren inferior por la recurrencia del salto. Debido a ello, se determinó que la experiencia en los militares paracaidistas no era un factor protector de desenlace de lesión y que, en cambio, pudo ser resultado de la acumulación de los impactos y la absorción de altas fuerzas generadas en el momento de aterrizar. Se ha reportado que el 90% de las lesiones se dan en la fase de aterrizaje, donde los factores determinantes pueden ser: el viento, que aumenta el riesgo cuando está a una velocidad mayor de 9 m/s; el terreno, el cual, en ocasiones, presenta irregularidades; y, por último, la técnica de aterrizaje, pues se logró establecer que el 85% de las lesiones sucedieron por acciones erróneas del paracaidista (Ekland, 1997).

En países como China, también se ha encontrado que la mala ejecución del aterrizaje es el mayor factor de riesgo de lesión en paracaidistas, de hecho, el tren inferior presenta el 80% de todas las lesiones y la articulación más afectada es la del tobillo (Niu, 2010). Las investigaciones identificaron que la fuerza de reacción del suelo (FRS) es excesiva, debido a la deficiente descomposición de la caída del paracaidista al aterrizar. Así mismo, se encontró que esta es una posible causa de alteraciones degenerativas del tejido articular (Murray, 1977). Cabe resal-

tar que los ejércitos Chino y Ruso comparten la misma técnica de aterrizaje, que es diferente a la utilizada en otros países. La técnica más comúnmente usada es la de descomposición de la fuerza y caída de forma lateral, sin embargo, la técnica que usan estos dos ejércitos se caracteriza por un aterrizaje en posición de sentadilla, para la descomposición de la fuerza en el momento de aterrizar.

El análisis biomecánico del aterrizaje es determinante para mejorar los entrenamientos en el curso de paracaidismo y disminuir las lesiones por mala ejecución del movimiento. El mecanismo de aterrizaje ha sido abordado desde muchos ámbitos, gracias a estos trabajos se ha podido establecer el papel fundamental que desempeña la cadena extensora del tren inferior en la desaceleración durante la caída, y cómo este mecanismo es el encargado de descomponer las fuerzas (Henderson, 1993). A este respecto, Henderson describe cinco puntos esenciales en el aterrizaje que permiten la rápida distribución de la energía del aterrizaje cuando el paracaidista toca el suelo, en su orden son: 1) contacto de los pies; 2) pantorrillas; 3) isquiotibiales; 4) zona glútea o nalgas; y 5) el área dorsal de la espalda. Este movimiento debe realizarse con las caderas y rodillas ligeramente flexionadas, siempre con las rodillas y pies juntos, y la posición de los pies en plantiflexión, para que el cuerpo actúe como un resorte en el aterrizaje (Henderson, 1993).

La adecuada ejecución del aterrizaje, según los instructivos e indicaciones, favorecerá un aterrizaje donde la descarga del peso y la transferencia de energía se distribuya equitativamente. Por otro lado, la mala ejecución aumentará el riesgo de lesión, debido al aumento de los esfuerzos que son soportados de manera aislada por los segmentos corporales más distales. Es preciso recordar que *el esfuerzo* es consi-

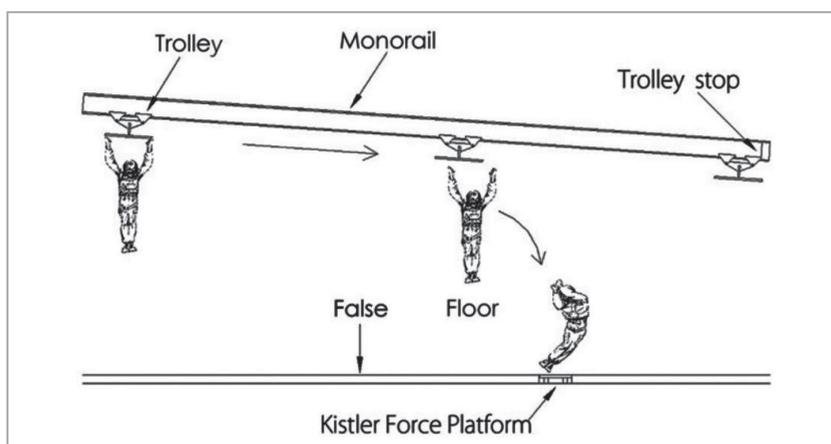


derado, desde el punto de vista físico, como la fuerza generada dividida entre el área de contacto ( $E=F/A$ ), y las unidades son newton (N)/ y metros cuadrados (). La fuerza es la resultante del impacto en el aterrizaje y el área corresponde a los contactos en cada fase del aterrizaje. Por tanto, a menor área, mayores serán los esfuerzos soportados por las articulaciones y tejidos blandos del tren inferior, por lo que se puede entender por qué la alta incidencia y prevalencia de lesiones al momento de caer (Robertson, 2014).

Las articulaciones de rodilla y tobillo serán, por tanto, las más sobrecargadas, de otro lado, las alteraciones mecánicas y anatomofisiológicas, derivadas de recurrentes impactos o malas ejecuciones de aterrizaje, serán reflejadas en esguinces de tobillo, artropatía patelofemoral y desgaste patelofemoral, entre otras, las cuales van a limitar movimientos y ejercicios de carrera y salto, propios del entrenamiento militar (Henderson, 1993). A medida que el curso de paracaidismo se va desarrollando, va aumentando la dificultad de las caídas y los impactos serán mucho mayores. Cada semana el tiempo

de acomodación antes de aterrizar se verá reducido y, comparado con los aterrizajes en misiones, las fuerzas que deba soportar el paracaidista militar serán mucho mayores. La velocidad de aterrizaje jugará un rol importante en los impactos, pues la energía cinética del paracaidista es directamente proporcional a la velocidad de impacto, la cual está determinada por componentes verticales y horizontales (Pirson, 1985).

Debido al aumento de lesiones en el tren inferior, se han realizado varias investigaciones que simulan o miden de forma objetiva los impactos y las diferentes técnicas utilizadas para el aterrizaje. Uno de los trabajos de investigación más importantes es el que se representa en la figura 1, donde se muestra la ejecución de un aterrizaje y su descomposición de la caída, midiendo los ángulos del tren inferior, la fuerza de reacción del piso al aterrizar y la actividad muscular mediante electromiografía de superficie en los músculos, gastrocnemio medial y tibial anterior de la pierna, recto femoral y vasto medial del cuádriceps, bíceps femoral y semitendinoso de los isquiotibiales. Esta inves-



**Figura 1.** Entrenamiento del aterrizaje con monorraíl dinámico.

Fuente: Whitting (2007).

Nota: las mediciones de la fuerza de aterrizaje son tomadas con plataformas triaxiales que se encuentran ubicadas en el piso.



tigación se llevó a cabo en el curso básico de paracaidismo de la Escuela de Entrenamiento de Paracaidismo Militar del Ejército Australiano (Whitting, 2007).

Los resultados de esta investigación resaltan la importancia de la semiflexión de la rodilla y la flexión plantar de la articulación del tobillo al momento de aterrizaje; todo ello, como mecanismo de amortiguación y mejor distribución de las cargas. Debido a que se realizaron pruebas a diferentes velocidades, se pudo observar que, a velocidades altas, con una plantiflexión de tobillo de  $123^\circ$ , las fuerzas de reacción del piso fueron 13,7 veces el peso corporal; mientras que, en velocidades lentas, a una plantiflexión de  $106^\circ$ , la fuerza de reacción del piso fue de 6,1 veces el peso corporal. Así mismo, la actividad muscular medida por electromiografía determinó la importancia de la activación del músculo gastrocnemio en el primer contacto con el suelo. Sin embargo, la activación de todos los músculos medidos fue determinante para controlar de forma excéntrica el inicio del aterrizaje y permitir una mejor absorción de los impactos. Esta estrategia fue vista en los aterrizajes con mayor velocidad, donde el control de la preactivación—en el descenso— y la modulación del mismo—en el aterrizaje— favorecieron a la adecuada descomposición de la caída (Whitting, 2007).

Estudios más recientes, como el realizado por Wu y otros (Wu *et al.*, 2018), encontraron que al usar un *brace* de rodilla (un dispositivo para estabilizar la articulación y no cargarla en fases de aterrizaje) la disminución de las fuerzas de reacción (FRP), medidas con una plataforma de fuerza a diferentes alturas, no fueron estadísticamente significativas. Para este estudio se usaron diferentes tipos de *brace*, cada uno con una rigidez diferente. Sin embargo, con el uso del *brace*, al momento de hacer contacto con el suelo, fue significativa la flexión, abducción y

rotación máxima de rodilla en el aterrizaje. De esta manera, se concluye que el *brace* ayuda a estabilizar la articulación de la rodilla en su plano coronal y sagital, sin embargo, el aumento de la fuerza de reacción del piso con el aumento de la velocidad y la altura de caída son factores que condicionan la ruptura de los estabilizadores estáticos de la rodilla, como los ligamentos, y favorecen las fracturas cuando la fuerza no es absorbida y transferida a los segmentos corporales adyacentes de forma eficaz (Wu *et al.*, 2018).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se puede inferir que los factores de riesgo derivados del curso de paracaidismo son muy altos y comprometen no solo la integridad del segmento articular del tren inferior, como la rodilla o el tobillo, sino que también alteran las condiciones físicas del militar, condicionándolo a tener dolor y alteraciones mecánicas del sistema musculoesquelético que le impidan la realización de actividades básicas militares como correr, saltar, cambiar de velocidad o desplazarse sobre terreno irregular. Las investigaciones citadas fueron realizadas en diferentes partes de mundo y recopilaron información del estado de los soldados dependiendo de su condición física, somatotipo, peso y talla, entre otras características. Esto ha permitido realizar las adecuaciones necesarias para mejorar el entrenamiento de aterrizaje y, en algunos casos, disminuir las altas prevalencias de lesión descritas.

Debido a que la caracterización del acondicionamiento neuromuscular del tren inferior no se ha realizado en la población militar colombiana, y que no hay evidencia del impacto de este tipo de cursos en el desempeño neuromuscular del tren inferior de los militares colombianos, el objetivo de la presente investigación se centró en identificar el impacto que se genera a nivel neuromuscular en quienes realizan el

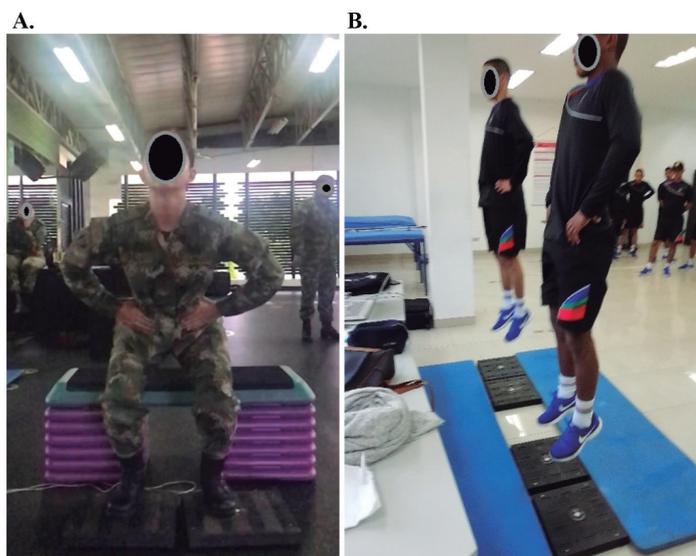


curso de paracaidismo militar, para lo cual se realizó un test de saltabilidad.

## Metodología

Se realizó un estudio observacional de tipo descriptivo, en una muestra de 40 cadetes de sexo masculino de último año de formación, que ingresaron al curso en la Escuela de Paracaidismo Militar en Nilo (Cundinamarca). Cada uno de los participantes fue informado de las pruebas y las especificaciones técnicas para la correcta realización de las mismas antes de ser llevadas a cabo, para evitar errores de medición y demoras en los registros. Los criterios de exclusión para el estudio fueron: presentar lesiones del tren inferior menores a 6 meses, tener alteraciones neurológicas o vestibulares, no firmar el consentimiento informado y manifestar dolor al realizar los ejercicios de saltabilidad propios del test.

La medición basal se realizó en las instalaciones de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” en el centro de investigación de la Cultura Física (CICFI). Previo a cada una de las evaluaciones se llevó a cabo el calentamiento dirigido de 10 minutos, el cual consistía en hacer movilidad articular del tren inferior, sin estiramiento (2 minutos). Posteriormente, se efectuó una carrera continua (5 minutos) en una distancia de 20 metros y, por último, se ejecutaron circuitos de aceleraciones y cambios de dirección (3 minutos). Para la medición del comportamiento mecánico del tren inferior se realizó el test de salto en contramovimiento (CMJ), el cual consiste en realizar un salto vertical con las manos en la cintura de manera explosiva, tratando de alcanzar la mayor altura posible (figura 2). Los test de saltabilidad se midieron con plataformas de fuerza uniaxiales (PASCO® a frecuencia adquisición: 1000 Hz), dispuestas



**Figura 2.** Test de salto

Nota: La prueba midió el contramovimiento en las plataformas de fuerza uniaxiales para determinar las características neuromusculares del tren inferior en militares que ingresan al curso de paracaidismo. La figura 2A muestra la fase inicial del salto (CMJ) con manos a la cintura, espalda recta y flexión de las rodillas a 90 grados. La figura 2B muestra la ejecución del salto, que tiene por objeto un despegue con la máxima fuerza, buscando la mayor altura posible.





de fuerza total (curva roja), y por cada hemicuerpo derecho (curva amarilla) e izquierdo (curva verde). En la parte inferior de la imagen se encuentran los registros de cada uno de los intentos realizados por cada salto con sus respectivos promedios.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el *software* SPSS®, versión 25 (IBM), que permitió determinar la normalidad de la distribución de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk y el posterior contraste de hipótesis mediante el estadístico de Wilcoxon para muestras relacionadas. En este punto cabe señalar que este estudio contó con la aprobación del comité de ética institucional de la Escuela Militar de Cadetes.

## Resultados

Todos los participantes completaron el test de saltabilidad, tanto al inicio del curso como al finalizarlo, sin ningún resultado adverso en la toma de medición. El peso promedio de los participantes al inicio del curso fue de 71,1 kg y al final fue de 68,5 kg, con una pérdida de peso ponderada de 2,6 kg por participante. Las variables del presente estudio fueron normalizadas

por el peso corporal para poder ser comparadas. En la tabla 1 se presentan las variables de medición del salto en contramovimiento (CMJ) que se tuvieron en cuenta durante el desarrollo del presente trabajo de investigación. Las mediciones PRE y POST se muestran con la media y desviación estándar.

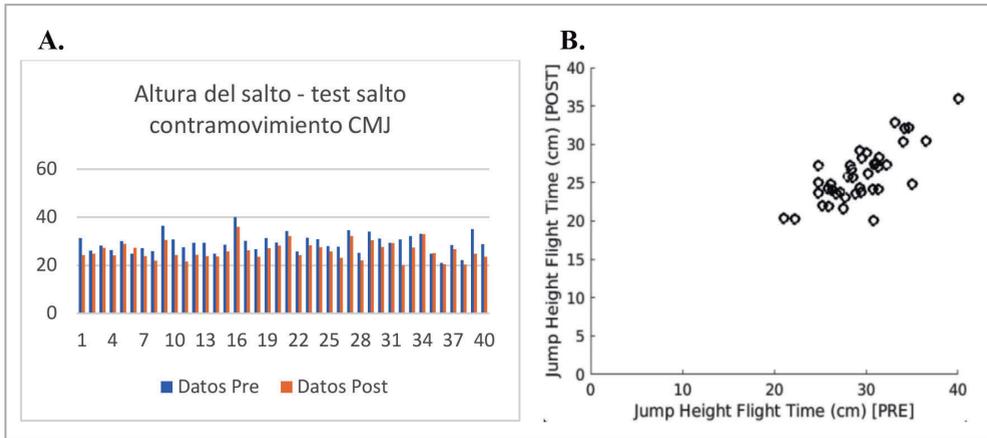
El resultado de la de altura del salto se muestra en la figura 4, donde se aprecia que se presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los valores en las mediciones pre y post en el curso de paracaidismo ( $p=0,0001$ ). Encontrando que el promedio de la altura al inicio fue de  $29,32 \pm 3,8$  cm y al terminar el curso de  $26,03 \pm 3,6$  cm.

En la figura 5 se observan los cambios presentados en el pico de potencia generado al inicio de la fase de impulso, que es una variable que se utiliza para medir la rapidez con la que se desarrolla la fuerza. Esta variable es característica en los entrenamientos de fuerza explosiva y ayuda a medir el impacto de las cargas. Se puede observar la disminución de la potencia con respecto a los valores basales (PRE-Potencia:  $43,29 \pm 3,4$  W/kg vs. POST-Potencia:  $40,62 \pm 4,3$  W/kg, con un valor  $p= 0,0002$ ).

**Tabla 1.** Descripción de las variables del salto en contramovimiento (CMJ)

VARIABLES DE MEDICIÓN	Media	Desviación estandar
PRE Altura de salto [cm]	29,32	3,86
POST Altura de salto [cm]	26,03	3,61
PRE Pico de Potencia / BM [W/kg]	43,29	3,47
POST Pico de Potencia / BM [W/kg]	40,62	4,37
PRE Asimetría en el pico de fuerza del aterrizaje	9,06	13,85
POST Asimetría en el pico de fuerza del aterrizaje	-4,21	15,26
PRE Pico de Fuerza en el Aterrizaje / BM [N]	57,65	9,86
POST Pico de fuerza en el aterrizaje/ BM [N]	65,15	12,44

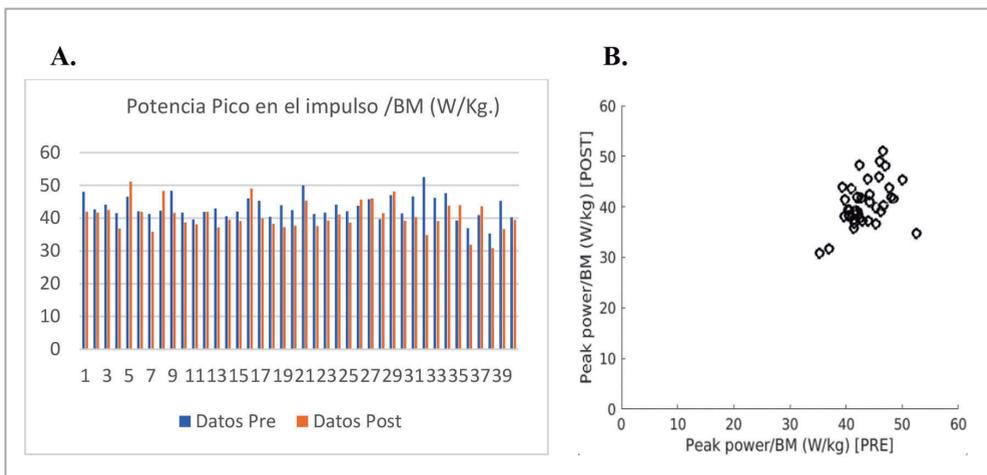
Nota: antes de iniciar el curso (PRE) y al terminar el curso de paracaidismo (POST).



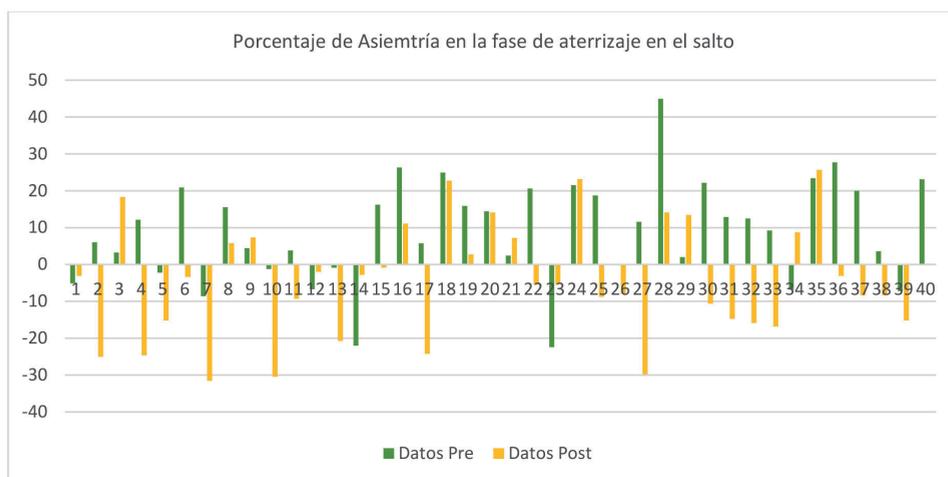
**Figura 4.** Diferencia en el pre y post de la disminución en la altura del salto al terminar el curso de paracaidismo  
Nota: la figura 4A muestra un gráfico de barras y la 4B un gráfico de dispersión de los datos.

Así mismo, se encontró que la fuerza de aterrizaje y el porcentaje de asimetría que presentaba esa diferencia de fuerzas en esta fase tuvieron desenlaces significativos estadísticamente, donde la fuerza de aterrizaje aumentó de un basal de  $57,65 \pm 9,8$  N a  $65,15 \pm 12,4$  N, con un valor de  $p= 0,002$ . Teniendo en cuenta

que se midió la pierna izquierda frente a la pierna derecha, la asimetría en porcentaje en la fase de aterrizaje pasó de un promedio de 9,06 % de descarga de peso hacia el lado derecho, a un 4,21% de descarga de peso hacia el lado izquierdo (ver figura 6).



**Figura 5.** Diferencia en el pre y post de la disminución en la Potencia Pico en la fase impulso del salto vertical  
Nota: la figura 5A muestra el gráfico de barras y la 5B un gráfico de dispersión de datos.



**Figura 6.** Diferencia en el pre y post de cada uno de los individuos en cuanto al porcentaje de fuerza en la fase de aterrizaje

Nota: los valores negativos se refieren a la descarga de peso en el lado izquierdo, y los valores positivos a la descarga de peso en el lado derecho.

## Discusión

Los atletas se preparan en cada uno de sus deportes para mejorar y mantener su estado de acondicionamiento, realizando un entrenamiento físico específico y dirigido, en donde se pueden padecer potenciales riesgos, ya sea por el sobreentrenamiento o lesiones que se presenten en el desarrollo del mismo. Como cualquier atleta, los militares que realizan el curso de paracaidismo deben prepararse y mantener una alta condición física que les permita el desarrollo de las tareas específicas que implica realizar un salto desde una aeronave (Knapik y Steelman, 2016).

El momento del aterrizaje es uno de los hitos más importantes dentro de la evaluación de movimientos, deportes o acciones de alto impacto, debido a que presenta un alto factor de riesgo de desenlace en lesión, por las sobrecargas generadas o por la acumulación de fuerzas de absorción que, al no ser disipadas de manera equitativa, se acumulan en lugares

puntuales del sistema osteomuscular y tejidos blandos adyacentes, generando alteración en la mecánica de la transferencia de la fuerza (Hay, 2006). Dichas alteraciones son las causantes de daños a nivel óseo, como las fracturas por estrés, sobrecarga de los músculos de la pierna y muslo, esguinces de tobillos por los impactos generados, o la fatiga muscular a altas aceleraciones o desaceleraciones, entre otras complicaciones. En la población militar, estos factores de riesgo se acentúan mucho más, debido a las altas demandas de trabajo físico bajo durante el entrenamiento táctico. Así sucede en ejercicios de mayor riesgo que implican aterrizajes a altas velocidades, como es el caso del ejercicio de descenso en paracaídas, propio del curso de paracaidismo. Por ello, la incidencia y prevalencia de estas lesiones aumentan considerablemente, lo que repercute en el número de efectivos disponibles para las operaciones y los costos implicados en su rehabilitación (Lee *et al.*, 1999).



Aunque en la literatura los estudios donde se describen las variables para determinar la potencia muscular desarrollada en el salto de paracaidismo militar son muy limitados, se pueden hallar algunos reportes en el Ejército Español donde se hace la valoración de la altura del salto usando equipos de acelerometría inercial, tanto antes como después de la ejecución del salto en contramovimiento, que fue el objetivo de nuestro estudio. En un estudio publicado en 2017, se evaluó la respuesta fisiológica (saturación de oxígeno, frecuencia cardiaca, cortisol, glucosa, lactato, creatinina quinasa, potencia muscular, modulación autonómica y estados de ansiedad) en 38 soldados en curso de paracaidismo, encontrando valores en el CMJ previos al salto de  $0,37 \pm 0,004$  metros y posterior al salto de  $0,39 \pm 0,004$  metros, hallando una diferencia con un valor  $p=0,038$  y un tamaño del efecto de  $0,50$  (d de Cohen).

Estos hallazgos demuestran que se presentó un aumento en la potencia del salto dado por mejoría en la altura alcanzada en la comparación (pre y post), lo que —infiere el estudio— se debe al aumento del cortisol postsalto, hecho que está relacionado con la modulación de la respuesta autonómica simpática, lo que aumenta el sistema de conducción eferente desde el cerebro al músculo, logrando que se incremente el acondicionamiento neuromuscular (Clemente-Suárez *et al.*, 2017).

En un estudio previo de los mismo autores, en donde evaluaron la respuesta psicofisiológica y las habilidades motoras finas de 16 paracaidistas experimentados (con más de 200 saltos) a grandes altitudes, mediante una comparación entre aquellos que practicaban la modalidad HALO (*high altitude low opening*) y los que practicaban la modalidad HAHO (*high altitude high opening*), se pudo evidenciar que aquellos que practicaban la modalidad HALO mostraban

una disminución en la altura de salto en el test de contramovimiento, obteniendo valores de  $0,41 \pm 0,05$  metros, en la evaluación previa al salto, y de  $0,40 \pm 0,05$  metros, en el post, con una reducción del  $-3,9\%$  en la potencia del salto, con un valor  $p=0,06$  y un tamaño del efecto de  $-0,20$ . En el estudio referido se argumentó que el descenso en la activación central del salto puede estar relacionada con la disminución de los valores de fuerza evaluados después del salto, ya que se evidenciaron niveles altos de creatinina quinasa (CK) en sangre, lo que conllevaría la destrucción de la fibra muscular, con la consecuente fatiga muscular que produciría la disminución en la altura del salto (Clemente-Suárez *et al.*, 2015, 2017).

En un estudio publicado en 2018, se realizó el análisis de la fuerza isocinética y la potencia del salto vertical en paracaidistas en la modalidad salto libre, encontrando en 14 deportistas, mediante el uso de plataformas de fuerza, que el valor de la altura del salto en el test de CMJ fue de  $0,33 \pm 0,05$  metros, presentando una correlacionaron positiva con la evaluación de los picos de fuerza isocinética de los cuádriceps y gastrocnemios (González-Moro *et al.*, 2018). Aunque este estudio no se realizó en paracaidistas militares, nos sirve como punto de referencia de la variable de altura del salto en el test de contramovimiento, con el fin de compararlo con los valores obtenidos en el estudio hecho en la Escuela Militar en Colombia, en donde se puede observar cómo la altura del salto (que se conoce como uno de los muchos indicadores de fuerza, potencia y variable que miden el efecto de un entrenamiento) ha disminuido significativamente posterior al curso de paracaidismo, y si se compara la altura del salto con los otros estudios, se observa que es mucho menor a estos. Este efecto debe ser considerado, no solo como un detrimento en el acondicionamiento neuro-



muscular debido al curso como tal, sino como un indicador de fatiga o de las altas cargas que tienen que soportar los militares durante el mes de entrenamiento intensivo, para realizar los diferentes ejercicios de exigencia física que se demandan.

Aunque el objetivo del estudio fue hacer una identificación de las variables del test de salto en contramovimiento en los alumnos —tanto al principio como al final del curso—, podemos mencionar que en el personal de cadetes (personal no experimentado), la variable biomecánica de altura del salto (que es un reflejo de la fuerza propulsiva del tren inferior), fue menor ( $29,32 \pm 3,8$  cm al inicio del curso y de  $26,03 \pm 3,6$  cm al terminar el curso) en comparación con lo encontrado en otros estudios. También llama la atención que se haya presentado una diferencia al finalizar el curso con cambios en valores de las variables que miden desempeño neuromuscular de los militares, debido al aumento de la fuerza en la fase de aterrizaje (que se considera como factor de riesgo de lesiones del tren inferior) y a la disminución de altura y potencia. Así mismo, se observó que las asimetrías presentes en esta misma fase cambiaron de una dominancia previa al curso en el hemicuerpo derecho hacia el hemicuerpo izquierdo, lo que puede estar asociado a la técnica de aterrizaje impartida en el curso. Por los hallazgos encontrados, se plantea que el personal que se someta al curso debería tener una adecuada condición neuromuscular del tren inferior, para que pueda soportar las altas cargas de aterrizajes de la cadena extensora en contracción excéntrica.

Ahora bien, también es cierto que esta medición se realizó inmediatamente terminó el curso, inclusive antes del primer salto desde la aeronave, por lo que la disminución en la altura y potencia del salto se pueden deber a condicio-

nes como la fatiga muscular. Para confirmar esta hipótesis, se recomienda hacer más estudios en el personal militar donde se midan las mismas variables, con una mayor cantidad de muestra, y un cambio en el diseño del estudio que evalúe al personal experto y compare los resultados con los obtenidos de las evaluaciones del personal que hace el curso básico, con el fin de determinar que el efecto sea debido al plan de entrenamiento impartido.

## Conclusión

El curso de paracaidismo militar en cadetes de último nivel de formación de la Escuela Militar presenta un efecto en las variables biomecánicas que evalúan la fuerza del tren inferior, lo que se ve reflejado en la disminución de altura y potencia del salto en el test de contramovimiento, con un cambio en la dominancia de las asimetrías evaluadas; así mismo, se evidencia un aumento en la fuerza en la fase de aterrizaje, que bien se podría asociar a un aumento en la posibilidad de lesión en el tren inferior o a fatiga muscular. Es necesario la realización de más estudios con grupos poblacionales mayores, los cuales, por medio de una modificación del diseño metodológico, podrían proveer un mayor número de comparaciones y confirmar las inferencias producto del presente estudio.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” por el apoyo brindado para la realización de este artículo.

## Declaración de divulgación

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el texto. Los puntos de vista y los resultados de este artículo pertenecen al autor y no refle-



jan necesariamente los de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”.

### Financiamiento

Los autores no declaran fuente de financiamiento para la realización de este artículo.

### Sobre el artículo

Este artículo hace parte de los resultados del proyecto de investigación “Evaluación del acondicionamiento neuromuscular del tren inferior del militar colombiano”

### Sobre los autores

**Jorge Eduardo Barreto Triana**, es Alférez de la Escuela Militar de Cadetes, estudiante de la Facultad de Educación Física Militar, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia.

**Jana Isabel Cruz Rivas**, es Alférez de la Escuela Militar de Cadetes, estudiante de la Facultad de Educación Física Militar, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia.

**Yeferson Andrés Hernández Ríos**, es Alférez de la Escuela Militar de Cadetes, estudiante de la Facultad de Educación Física Militar, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia.

**Jenner Rodrigo Cubides Amézquita**, es Médico y Cirujano (Universidad de Boyacá). Especialista en Epidemiología (Universidad del Rosario). Magister en Genética Humana (Universidad del Rosario). Líder del Grupo de Investigaciones en Rendimiento Físico Militar (RENFIMIL), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Contacto: jenner.cubides@esmic.edu.co.

<https://orcid.org/0000-0001-6573-0432>.

## Referencias

- Clemente-Suárez, V. J., Robles-Pérez, J. J., & Fernández-Lucas, J. (2017). Psycho physiological response in an automatic parachute jump. *Journal of Sports Sciences*, 35(19), 1872-1878.
- Clemente-Suárez, V. J., Delgado-Moreno, R., González-Gómez, B., & Robles-Pérez, J. J. (2015). Respuesta psicofisiológica en un salto táctico paracaidista HAHO: caso de Estudio. *Sanidad Militar*, 71(3), 179-182.
- Clemente-Suárez, V. J., Robles-Pérez, J. J., Herrera-Mendoza, K., Herrera-Tapias, B., & Fernández-Lucas, J. (2017). Psychophysiological response and fine motor skills in high altitude parachute jumps. *High altitude medicine & biology*, 18(4), 392-399.
- English, J. A., & Gudmundsson, B. I. (1994). On infantry. Greenwood Publishing Group.
- Ekeland, A. (1997). Injuries in military parachuting: a prospective study of 4499 jumps. *Injury*, 28(3), 219-222.
- Farrow, G. B. (1992). Military static line parachute injuries. *Australian and New Zealand journal of surgery*, 62(3), 209-214.
- González-Moro, I. M., Alcañiz, R. N., Ruiz, M. J. P., Albaladejo, J. L. L., & López, V. F. (2018). Isokinetic strength and vertical jump test in acrobatic skydivers. *Arch Med Deporte*, 35(5):317-324.
- Hay, S. T. (2006). Parachute Injuries in the Australian airborne Battle group in 2004. *Australian Defense Force Health*, 7(2), 73-7.
- Henderson, J. M., Hunter, S. C., & Berry, W. J. (1993). The biomechanics of the knee during the parachute landing fall. *Military medicine*, 158(12), 810-816.
- Knapik, J. J., Craig, S. C., Hauret, K. G., & Jones, B. H. (2003). Risk factors for injuries during military parachuting. *Aviation, space, and environmental medicine*, 74(7), 768-774.
- Knapik, J., & Steelman, R. (2016). Risk factors for injuries during military static-line airborne operations: a systematic review and meta-analysis. *Journal of athletic training*, 51(11), 962-980.
- Lee, C. T., Williams, P., & Hadden, W. A. (1999). Parachuting for charity: is it worth the money? A 5-year audit of parachute injuries in Tayside and the cost to the NHS. *Injury*, 30(4), 283-287.



- Murray-Leslie, C. F., Lintott, D. J., & Wright, V. (1977). The knees and ankles in sport and veteran military parachutists. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 36(4), 327-331.
- Pirson, J., & Verbiest, E. (1985). A study of some factors influencing military parachute landing injuries. *Aviation, space, and environmental medicine*, 56(6), 564-567.
- Robertson, G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics.
- Whitting, J. W., Steele, J. R., Jaffrey, M. A., & Munro, B. J. (2007). Parachute landing fall characteristics at three realistic vertical descent velocities. *Aviation, space, and environmental medicine*, 78(12), 1135-1142.
- Wu, D., Zheng, C., Wu, J., Wang, L., Wei, X., & Wang, L. (2018). Protective knee braces and the biomechanics of the half-squat parachute landing. *Aerospace medicine and human performance*, 89(1), 26-31.
- Xie, X., An, X. Z., & Tian, Y. J. (2004). A prospective study of 1,795 injuries of parachute landing. *J Prev. Med Chin PLA*, 22, 114-5.