

Caracterización neuromuscular de miembros inferiores en alumnos de primer nivel de la Escuela Militar de Cadetes

7

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.07>

María Alejandra Díaz Pinilla¹

Rodrigo Argothy Buchelli²

Resumen

Objetivo: realizar una caracterización del componente neuromuscular de los miembros inferiores, a partir del test de salto contramovimiento, en la población militar que ingresa a la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic). **Materiales y métodos:** se realizó un estudio transversal en 63 estudiantes de primer nivel (45 hombres – 18 mujeres) de la Esmic en el segundo semestre de 2017. Las pruebas de saltabilidad se midieron con dos plataformas de fuerza (Pasco frecuencia de adquisición 1000Hz) uniaxiales y los datos se procesaron mediante el software ForceDekcs. **Resultados:** las variables pico de aterrizaje, pico de fuerza concéntrica, pico de potencia y desaceleración excéntrica fueron significativamente mayores (pvalue < 0,05) en los hombres que en las mujeres. La variable que presenta una mayor diferencia entre géneros es la altura del salto con 35 % de diferencia. A pesar de estas significativas diferencias, los porcentajes de asimetría no difieren entre géneros. Finalmente, las diferencias por género están dadas por características neuromusculares, anatómicas y biomecánicas, las cuales fueron determinadas principalmente por tres variables: altura del salto, pico de potencia y fuerza concéntrica.

Palabras clave: salto de contramovimiento, características neuromusculares, miembro inferior.

1 MSc. Ingeniería Biomédica. Grupo de investigaciones del Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C. Colombia. Contacto: mariaalejandra.diazpinilla@student.kuleuven.be - <https://orcid.org/0000-0002-6811-2055>

2 F.T Grupo de investigaciones del Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia. Contacto: rargoty@mindeporte.gov.co - <https://orcid.org/0000-0001-9606-4284>

Introducción

El Ejército Nacional de Colombia está constituido por escuelas militares para preparar a los aspirantes a tener una vida militar, y de esta forma formarlos para que puedan asumir cada reto de la mejor manera (1). Durante la carrera militar los estudiantes están expuestos a altas exigencias físicas, no solo por su intenso entrenamiento militar, sino también por su rutina académica que debe ir acompañada de dedicación, esfuerzo y horas de estudio (2). Además, soportan altas cargas emocionales y psicológicas, lo cual genera alta demanda energética y riesgo de fatiga; es decir, no solamente están expuestos a fatiga física.

Tanto en la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic) como en diferentes contextos militares se ha encontrado una alta incidencia de lesiones, más específicamente en miembros inferiores, entre las cuales sobresalen estrés tibial medial, esguinces y fisuras (tabla 1). Se evidencia que el estrés tibial medial es la lesión más frecuente en la carrera militar y se debe al aumento en la actividad física a diferentes intensidades, frecuentemente sin la orientación especializada, lo cual genera sobreuso (3). En relación con el entrenamiento militar, Thacker et al. (4) destacan que la mayoría de las lesiones ocurren en extremidades inferiores (entre el 60 % y 80 %), las cuales están altamente relacionadas con sobreuso del aparato locomotor. Además, lo que más preocupa es que del 4 % al 10 % de la población militar en formación básica, es decir entre ocho y 12 semanas de entrenamiento militar, es diagnosticado con estrés tibial medial (5, 6). Una significativa parte de los nuevos estudiantes que vienen de una vida civil presentan síntomas de estrés tibial medio, sin embargo, no es muy claro si esto se debe directamente el entrenamiento militar combinado con las condiciones en las que se realiza el entrenamiento (calzado, carga adicional o las superficies) o, por el contrario, si está relacionado con las características físicas y fisiológicas con las que ingresan los estudiantes a su carrera militar.

Tabla 1. Lesiones presentadas en la Esmic

	Estrés tibial (%)	Fisura (%)	Esguince (%)	Total (%)
Nivel 3	15	6.1	1.2	22.3
Nivel 4	6.9	5.4	3.6	15.9
Nivel 5	12.4	11.2	2.2	25.8
Total	34.3	22.7	7	64

Fuente: Tomada de (1).

Un nuevo cadete requiere cierto nivel de estado físico para cumplir con la demanda física que se exige al empezar el entrenamiento militar. Entre los componentes físicos más importantes que se necesitan son: resistencia, fuerza, flexibilidad y movilidad (7). Además, este tipo de entrenamientos están compuestos por movimientos dinámicos que implican sucesivas contracciones excéntricas y concéntricas de los músculos. Por lo tanto, es de vital importancia hacer evaluaciones biomecánicas que permitan monitorear las capacidades mecánicas máximas del sistema neuromuscular, en este caso de miembros inferiores, ya que es donde se presentan la mayor cantidad de lesiones. Entre las pruebas más utilizadas como indicadores de fuerza y potencia anaeróbica de los músculos de las extremidades inferiores se encuentran diversos test de saltabilidad (8) utilizando plataformas de fuerza; los más empleados en los estudios por sus mediciones cuantitativas son el salto de contramovimiento (CMJ) y el squat jump (SJ) (9). Adicionalmente, aunque hay dispositivos que utilizan transductores de velocidad lineal para medir la potencia muscular, varios estudios afirman que estos equipos sobreestiman la velocidad, la fuerza y la potencia (3).

Los test de saltabilidad son los más usados porque saltar es una actividad que requiere una coordinación motora entre los segmentos superiores e inferiores del cuerpo (10). Asimismo, Welsh et al. (11) sostienen que es una actividad que no requiere mucha habilidad, muy segura y reproducible. El CMJ es más usado que el SJ para supervisar el estado neuromuscular de un individuo (12) porque es un movimiento dinámico que involucra acciones musculares concéntricas y excéntricas, mientras que el SJ solo es una acción

concéntrica (13). Igualmente, el CMJ es utilizado no solo porque permite identificar fatiga, asimetrías y compensación (14, 15), sino además porque está posicionado como uno de los test más simples, efectivos y populares (11, 12). Adicionalmente, esta prueba no genera ninguna fatiga, lo cual puede suceder en otras pruebas, afectar el rendimiento de los sujetos y alterar los resultados (11).

Más allá de la facilidad de realizar una prueba de CMJ, Markov et al. (10) afirman que con el CMJ se pueden estudiar las características biomecánicas del salto, lo cual permite analizar las características contráctiles de miembros inferiores. Además, con esta prueba se puede valorar la efectividad del ciclo estiramiento-acortamiento (*stretch-shortening*) a partir de la altura que se alcanza en el salto (10, 15). Sin embargo, lo más interesante de analizar en el CMJ es cómo el salto está relacionado con capacidades neuromusculares de miembros inferiores. Esto se analiza de dos formas muy sencillas: por un lado, como lo mencionan Jiménez-Reyes y González-Badillo (15), la altura del salto es proporcional a la velocidad de despegue, que a su vez es proporcional a la velocidad de acortamiento muscular. Por otro lado, si hay rigidez musculotendinosa o fatiga, se generará menos fuerza, lo que a su vez está relacionado con pérdidas de velocidad y altura a la hora de ejecutar el salto (16).

Por este motivo, el objetivo de este estudio es realizar una caracterización neuromuscular de miembros inferiores de la población militar de primer nivel, con el fin de definir el rendimiento de los estudiantes que ingresan a la Escuela Militar. Así mismo, definir las diferencias neuromusculares de miembros inferiores entre hombres y mujeres, así como sus asimetrías, a partir de un test de saltabilidad. Este estudio permitió determinar si las características basales son las que desencadenan las lesiones o estas se deben a la iniciación de su carrera militar, teniendo en cuenta que durante el entrenamiento están expuestos a diferentes cargas.

Metodología

Esta investigación se basó en resultados cuantitativos, el diseño de la investigación es transversal y el alcance es de tipo descriptivo.

Diseño del estudio

PARTICIPANTES

Cadetes ingresantes a primer nivel de todas las facultades de la Escuela Militar de Cadetes José María Córdova (Esmic) durante el primer semestre del año 2017 que estuvieran presentes en el momento en que se realizaron las pruebas para recoger los datos del estudio. Todos los participantes fueron previamente invitados a formar parte del estudio de manera voluntaria. En una reunión previa al inicio del protocolo, se les explicó los objetivos, la metodología y todos los por menores del estudio, así como también se les aseguró la confidencialidad de los datos. Los criterios de exclusión a priori planteados para este estudio fueron: sujetos que no hubiesen firmado el consentimiento informado, presentaran neuropatías en la extremidad inferior, displasia de cadera o cualquier patología que afectara su desempeño físico durante la formación militar y las mediciones del CMJ. Por lo tanto, 63 cadetes (45 hombres y 18 mujeres) sanos formaron parte del estudio.

PROCEDIMIENTO

El estudio se realizó en el Centro de la Cultura Física (Cicfi) de la Esmic. Cada sesión tenía una duración de quince minutos aproximadamente. Antes de realizar las pruebas propuestas los cadetes realizaban un calentamiento —trote y activación de miembros inferiores— y al final se hacían unos saltos de contramovimiento (CMJ) de práctica antes de realizar la prueba.

Al inicio de la investigación se registró la edad, el sexo y la procedencia de los participantes, y se les interrogó acerca de sus hábitos de actividad física. Las medidas antropométricas básicas (estatura, peso e Índice de Masa Corporal [IMC]) se tomaron usando instrumentos previamente calibrados (tallímetro SECA mBCA 515/514 y báscula Tanita BC-1500 ANT+Wireless). La altura del salto (cm), la desaceleración excéntrica (ED [N/s* kg]), la fuerza excéntrica media (EMF [N/kg]), el pico de fuerza concéntrica (PCF [N/kg]), la fuerza pico en el aterrizaje (PLF [N/kg]), pico de potencia (PP [W/kg]) y las asimetrías de PLF (%), ED (%) y PCF (%) se evaluaron a través del CMJ bilateral en la línea de base. Por medio de estas

variables se valoró la función neuromuscular de las extremidades inferiores en las diferentes fases del CMJ.

Antes de su ejecución, se explicó la técnica del salto y los cadetes tuvieron la oportunidad de ensayarlo. Para hacer un salto de CMJ el sujeto se ubica en posición bípeda, se ubican las manos sobre la cintura y se realiza el salto. La fase de descenso se realiza a comodidad del sujeto, el movimiento de descenso y ascenso debe hacerse lo más rápido y potente posible, finalmente, al caer del salto el sujeto recupera la posición y se mantiene en posición bípeda. Cada participante realizó tres intentos válidos y se tomó el promedio para cada una de las variables. Posteriormente, estas fueron ajustadas según el peso corporal de los sujetos (N/s o N dividido entre el peso en kg).

INSTRUMENTACIÓN

Las pruebas de saltabilidad se midieron con dos plataformas Pasco uniaxiales (una para cada pierna) como la que se muestra en la figura 1. La frecuencia de adquisición de cada plataforma es de 100 Hz. Los datos obtenidos se procesaron mediante el software ForceDekcs.

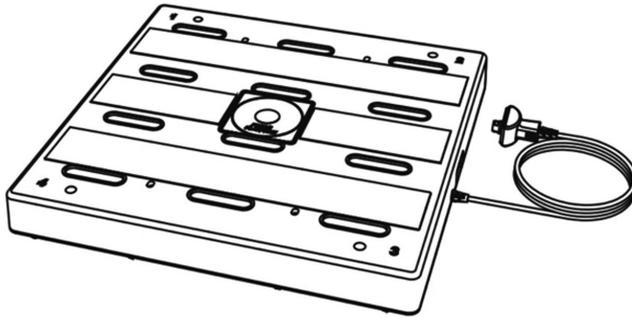


Figura 1. Plataforma uniaxial Pasco.
Fuente: Tomado de (28).

ANÁLISIS DE DATOS

Un salto de CMJ está definido en las fases demarcadas en la figura 2, seguida por una fase de vuelo y una fase de aterrizaje. Las variables utilizadas en el estudio que permiten analizar el movimiento completo del salto están resumidas en la tabla 2.

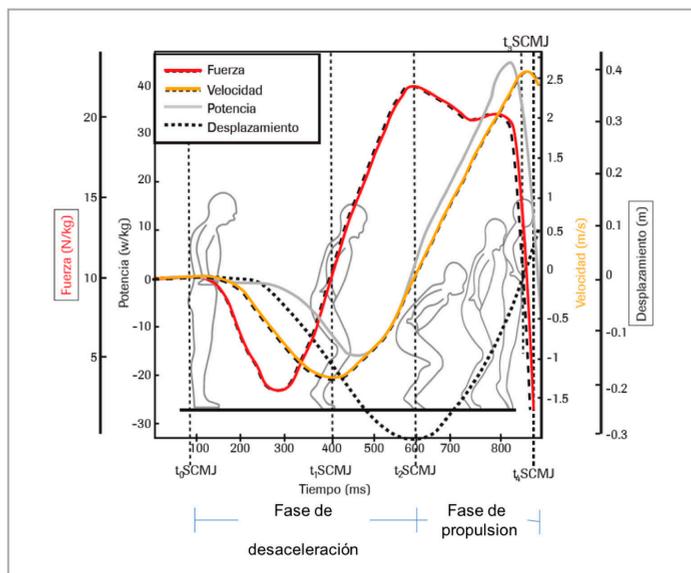


Figura 2. Salto vertical de contramovimiento ilustrando dos de sus fases. Fuente: Tomado de (18).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis fue realizado con SPSS Statistics versión 25 (IBM). Primero es importante mencionar que se utilizaron estadísticas descriptivas para verificar que las variables dependientes cumplieran con el supuesto de distribución normal. El test de normalidad muestra que las variables cumplen con una distribución normal. Luego, para evaluar las diferencias entre género, se realizó un Anova de un factor.

Después se hizo un análisis de componentes principales (ACP) sobre los datos obtenidos de todos los 63 sujetos con el fin de reducir la dimensionalidad de la base de datos, manteniendo la mayor varianza posible y encontrar correlaciones en una base de datos multivariada. El ACP es una técnica que permite extraer información importante de la base de datos y expresarla en un conjunto nuevo de variables llamadas *componentes principales*. Las variables utilizadas para este análisis fueron seleccionadas con el fin de cubrir todas las fases del salto y poder encontrar correlaciones entre ellas. Las variables están descritas en la tabla 2.

Tabla 2. Variables utilizadas para el estudio con sus respectivas unidades de medición y la fase en la que la variable es medida

Variables	Unidades	Descripción	Fase del salto
Desaceleración excéntrica	Newton/ Segundo (N/s)	Fuerza del periodo excéntrico generado durante el alargamiento muscular antagonista dentro del salto realizado.	Fase de desaceleración
Pico de potencia	Watts (W)	Máxima generación de fuerza por velocidad durante el salto.	Fase de propulsión
Pico de fuerza concéntrica	Newton (N)	Fuerza que permita superar la fuerza de gravedad y esta relacionada con la actividad muscular (Fuerza máxima)	Fase de propulsión
Altura del salto	Centímetro (cm)	Medición de la longitud del salto.	Fase de vuelo
Pico de aterrizaje	Newton (N)	Fuerza de acción del suelo donde la fuerza generada al momento de la caída es dividida por el peso del sujeto.	Fase de aterrizaje

Fuente: Original de los autores para explicar la figura 2.
Las descripciones de las variables son tomadas de (17).

Resultados

La muestra estuvo conformada por 63 cadetes (45 hombres y 18 mujeres) sanos. Ninguno de ellos presentaba ninguna lesión ni molestia en miembros inferiores. La tabla 3 resume las características físicas principales del grupo de estudio.

Tabla 3. Datos antropométricos y estadísticos generales de hombres y mujeres ingresantes a la Esmic: media y desviación estándar

	Edad (años)	Altura (m)	Peso (Kg)
Mujeres	18.3 (1.5)	1.62 (0.06)	54.50 (6.54)
Hombres	18.9 (1.1)	1.73 (0.07)	65.18 (8.26)

Fuente: Original de los autores.

La figura 3 muestra cómo son las distribuciones de las variables seleccionadas, evaluadas a través del CMJ para el estudio, en hombres y mujeres que ingresaron a la Esmic en el primer semestre de 2017. Todas presentaron una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov; $p.value > 0,05$). Los valores de frecuencia fueron mayores para los hombres porque esta población es mayor que la de mujeres, sin embargo, lo relevante de estos gráficos es evidenciar cómo las distribuciones de las variables para ambos géneros son homogéneas y que las distribuciones de los hombres toman valores mayores, lo cual genera siempre una media y mediana mayor en todas las variables en los hombres. Cabe resaltar que en las mujeres se vieron más valores atípicos porque el número de la población es menor.

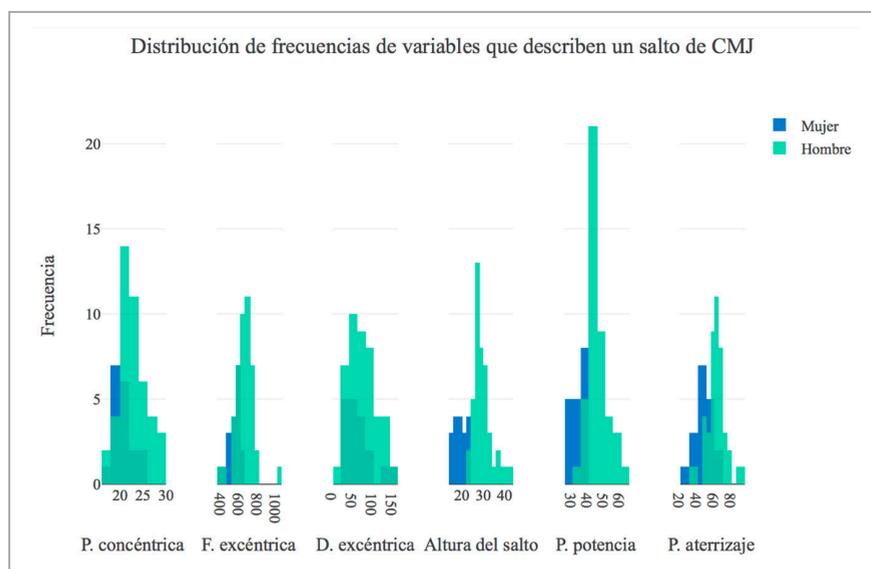


Figura 3. Distribución de frecuencia de las variables de estudio, comparación entre hombres y mujeres. Orden de los histogramas de izquierda a derecha: Pico de fuerza concéntrica (P. concéntrica), fuerza media excéntrica (F. excéntrica), desaceleración excéntrica (D. excéntrica), altura del salto, pico de potencia (P. potencia) y pico de aterrizaje (P. aterrizaje). Fuente: Original de los autores.

Adicionalmente, la tabla 4 muestra valores más detallados del estudio. Los hombres ingresantes a la escuela saltan 35 % más alto que las mujeres ($29,68 \pm 4,45$ vs. $19,08 \pm 2,64$). Además, los valores de pico de aterrizaje, pico de fuerza concén-

trica y fuerza media excéntrica fueron significativamente mayores ($p.value < 0,01$) en los hombres que en las mujeres. Adicionalmente, se calcularon los porcentajes de asimetría en la desaceleración excéntrica, fuerza concéntrica y pico de aterrizaje para explicar las asimetrías en tres fases del salto: fase de desacelerado, fase de propulsión y fase de aterrizaje. Aunque estos valores no difieren entre géneros (tabla 5), se evidencia que para ambos géneros los valores de asimetrías más altos se dan en la fase de desaceleración, seguido por la fase de aterrizaje.

Tabla 4. Valores de las variables estudiadas (media y desviación estándar) en hombres y mujeres

	Mujeres	Hombres	Diferencia	Mínimo	Máximo
Pico de potencia (N)	32.88 (4.56)	45.14 (5.99)	27.16%	25.5	62.4
Altura del salto (cm)	19.08 (2.64)	29.68 (4.45)	35.71%	14.9	43.5
Pico de aterrizaje (N/kg)	48.22 (10.32)	61.04 (11.16)	21.00%	28	93
Pico fuerza concéntrica (N/kg)	20.61 (2.28)	22.76 (2.86)	9.45%	17.6	28.9
Desaceleración excéntrica-RFD (N/s*Kg)	64.77 (30.33)	73.19 (32.75)	11.50%	23	154
Fuerza media excéntrica (N/Kg)	525.72 (65.42)	640.27 (97.78)	17.89%	376	1000

Fuente: Original de los autores.

Luego se utilizó un análisis de componentes principales con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos, encontrar correlaciones entre las variables y establecer patrones que permitan diferenciar entre géneros. Como el ACP es una transformación del sistema de coordenadas originales en un sistema de coordenadas nuevo (PCs), los coeficientes representan vectores que permiten visualizar relaciones entre las variables originales con el sistema

de coordenadas nuevo, y a la vez estima cuánto contribuye cada variable a la conformación de los componentes principales (PC), y que tan fuertes son las correlaciones entre las diferentes variables y los componentes. En este estudio fueron incluidas en el ACP las siguientes variables: pico de potencia, altura del salto, pico de aterrizaje, pico de fuerza concéntrica y desaceleración excéntrica.

Tabla 5. Porcentajes de asimetría para hombres y mujeres calculados para tres variables

	% Asimetría	
	Hombres	Mujeres
Pico de aterrizaje	12.17	7.47
Pico fuerza concéntrica	7.3	6.13
Desaceleración excéntrica	14.53	17.65

Fuente: Original de los autores.

De este nuevo sistema de coordenadas, tres de cinco componentes fueron seleccionados porque explican el 95,7 % de la varianza de los datos. En la figura 4 se puede ver que los coeficientes del primer componente principal para pico de potencia, altitud del salto y pico de fuerza concéntrica son mayores o son aproximados a 0,5. Este PC representa cómo la fuerza de propulsión (P. concéntrica) —la cual explica la fuerza muscular— está correlacionada con la eficacia del salto dada por la altura y la potencia. Además, explica la ecuación 1, mencionada por Prada (19), donde la potencia muscular de los miembros inferiores es directamente proporcional a la altura (h) que se alcanza en el salto. El primer PC explica la fase de propulsión y la fase de vuelo de un salto de CMJ; este PC explica el 60,09 % de la varianza de los datos. El segundo componente define el 23 % de la variabilidad de los datos y el tercer PC el 12 %. El segundo componente ilustra el descenso / ascenso del salto y dio como resultado una fuerte correlación entre la fuerza concéntrica y la desaceleración excéntrica. Finalmente, el tercer componente está definido por la fase de aterrizaje del salto.

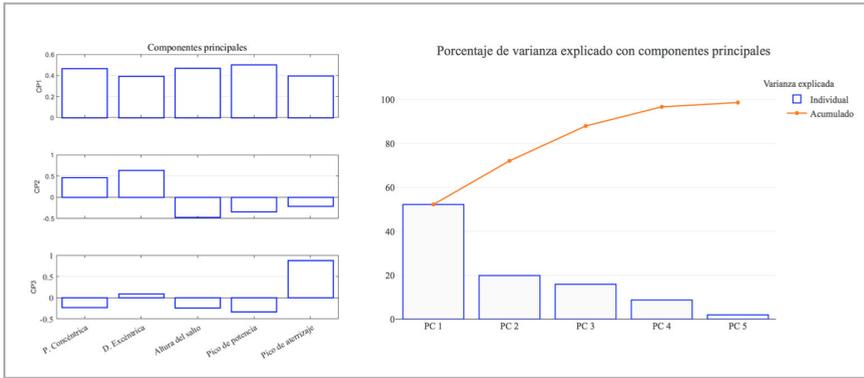


Figura 4 Resultados del análisis de componentes principales en los datos usando las variables: pico de fuerza concéntrica, desaceleración excéntrica, altura del salto, pico de potencia y pico de aterrizaje. *Izquierda:* coeficientes de los tres primeros componentes principales para las cinco variables. *Derecha:* porcentaje de variación explicado por los componentes principales. Fuente: Original de los autores.

$$Potencia = \sqrt{\left(\frac{g}{2}\right)} * m * \sqrt{h} \quad (1)$$

Finalmente, se proyectan todas las pruebas de cada sujeto a este nuevo sistema de coordenadas. En la figura 5 se puede ver cómo se tienden a agrupar los datos de acuerdo con el género. Este nuevo sistema de coordenadas permite encontrar diferencias entre géneros dados principalmente por el primer PC. Los resultados muestran que la potencia, la altura y la fuerza concéntrica del salto son las características principales que permiten diferenciar neuromuscularmente en miembros inferiores entre géneros (figura 4).

Discusión

El salto de contramovimiento es una de las pruebas más utilizadas para hacer análisis neuromusculares (10, 12, 15, 20). El objetivo de este proyecto era realizar una caracterización de miembros inferiores a los alumnos de primer nivel de la Esmic a partir de pruebas de salto de CMJ. El concepto de caracterización neuromuscular utilizando CMJ ha sido mencionado en otras

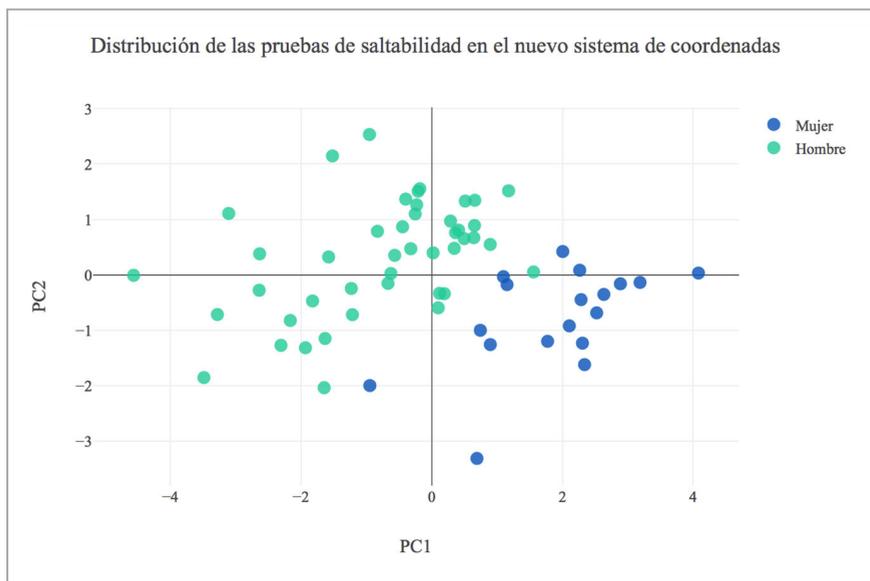


Figura 5. Cada sujeto es un punto en el nuevo espacio de coordenadas, el cual está determinado por el componente principal 1 (PC1) y el componente principal 2 (PC2). Fuente: Original de los autores.

investigaciones, especialmente para evaluar rendimiento en deportistas (15, 17, 20, 21), pero también hay algunos estudios que han utilizado la prueba de CMJ en militares (7, 11, 22). La mayoría de estas investigaciones están enfocadas en comparar cómo varía la fuerza, la velocidad y la potencia a la hora de realizar un salto de contramovimiento después de llevar a cabo determinado entrenamiento; en otras palabras, se utiliza el CMJ para evaluar la efectividad e incidencia de un entrenamiento —estos estudios se basan principalmente en dos variables: pico de potencia y altura del salto—. Lo importante de este estudio es hacer una caracterización muscular no solo utilizando las variables de pico de potencia y altura del salto, sino también incluyendo la desaceleración excéntrica, el pico de fuerza concéntrica y el pico de aterrizaje. La finalidad es abarcar todas las fases del salto para poder hacerle un análisis completo y así encontrar valores de referencia que permitan describir la condición muscular de miembros inferiores de los alumnos de primer nivel de la Esmic.

Diferencias entre géneros

La figura 3 y la tabla 4 señalan que las diferencias en fuerza y potencia de miembros inferiores entre hombres y mujeres es significativa, con diferencias no menores al 10 %. La diferencia más evidente se da en la altura del salto (35 %), lo cual está dado por una mayor fuerza concéntrica —que explica la fuerza de propulsión— y a su vez está altamente correlacionado con una mayor desaceleración excéntrica. Estos resultados se asemejan a los encontrados por Lafaye et al. (20), quienes afirman que una mayor fuerza concéntrica, acompañada con una mayor fuerza excéntrica, brinda una mayor capacidad para acelerar el cuerpo a la hora de realizar un salto de contramovimiento.

En la ejecución del salto (2), la fuerza que define cada una de las fases (desaceleración excéntrica, pico de fuerza concéntrica y pico de aterrizaje) es menor en mujeres que en hombres. Algunos estudios sugieren que una baja tasa de desarrollo de fuerza en mujeres se debe no solo a las diferencias en las propiedades elásticas de los músculos (23), sino también a las dimensiones del cuerpo y la arquitectura muscular, lo cual modifica la forma en la que se produce la fuerza (20).

En artículos donde la población de estudio es militar y se utilizan pruebas de saltabilidad, los autores se han enfocado en determinar cómo un salto de CMJ o squat jump (SJ) es relevante para medir el rendimiento físico de un militar después de entrenamientos militares cortos (8-21 días) (7, 11, 22). En estos estudios no hacen ninguna diferencia entre géneros y solo utilizan el pico de potencia y la altura del salto como variables de comparación. Es importante recalcar que, aunque los sujetos estén expuestos al mismo entrenamiento durante el mismo periodo de tiempo, si no se hace una distinción entre géneros podría sesgar los resultados, ya que, como se mostró en la tabla 4, las diferencias que existen durante la ejecución de un salto de CMJ son significativas.

Evaluación de asimetrías

En un salto vertical se espera que ambas extremidades contribuyan lo mismo en fuerza y potencia, de lo contrario el rendimiento disminuye y la probabilidad de lesión aumenta (24). Sin embargo, esto no se cumple, ya que la mayoría de las veces se presentan asimetrías dadas de acuerdo con la extremidad dominante. Adicionalmente, es importante prestar atención a asimetrías mayores al 10 % en sujetos que, aunque tengan una alta actividad física, no tienen un adecuado entrenamiento (25). Se puede decir que los estudiantes de primer nivel de la Esmic del año 2017 presentan porcentajes de asimetría muy altos en la fase de desaceleración y aterrizaje, seguramente son sujetos que siempre han tenido una actividad física activa, pero nunca han desarrollado entrenamientos que les permita compensar estas asimetrías. Por lo tanto, si no se realiza un entrenamiento vigilado y adecuado en esta población, pueden tener una alta probabilidad de lesión. Si bien en este caso no se conoce el índice de lesiones sobre esta población y puede ser que no haya sido alto, quizá se deba a mecanismos compensatorios, entre los que se encuentra la alteración de la técnica de los movimientos o modificación de la postura (26), lo cual puede causar lesiones a largo plazo.

Aunque las diferencias por género en las fases del salto son evidentes, es importante destacar que las diferencias en las asimetrías no fueron significativas en la población ingresante; sin embargo, sería interesante ver cómo estas asimetrías varían a lo largo del entrenamiento militar.

Perfil neuromuscular

El reporte final de un salto de CMJ está asociado a variables cinéticas y cinemáticas: altura del salto, potencia, fuerza, velocidad, fuerza excéntrica, fuerza concéntrica, entre otros. Y a su vez hay unas variables que son más sensibles que otras a la hora de determinar el perfil neuromuscular de un atleta (12). Hasta el momento no se ha encontrado mucha literatura con modelos que utilicen las variables de un reporte de CMJ para diferenciar entre grupos de interés, y mucho menos modelos que estén enfocados en

distinguir perfiles neuromusculares de miembros inferiores entre hombres y mujeres. Los estudios que plantean modelos a partir de los reportes derivados de una prueba de CMJ se han enfocado en crear perfiles que permitan diferenciar entre deportistas de acuerdo con su disciplina (20), o plantear modelos más sencillos que describan las relaciones fuerza/velocidad y potencia/velocidad de un salto (27).

Uno de los objetivos de este estudio era definir un perfil neuromuscular que permitiera determinar las características neuromusculares y biomecánicas que se diferencian entre hombres y mujeres de primer nivel de la Esmic. En este sentido se encontró una alta correlación entre la altura del salto, el pico de potencia y el pico de fuerza concéntrica, como muchos autores lo han reportado (11, 15, 17, 20, 21, 22). Sin embargo, lo novedoso es evidenciar cómo estas tres variables generan un perfil que es principal para diferenciar entre hombres y mujeres en un salto de contramovimiento (figura 5). Estos resultados afirman diferencias biomecánicas y neuromusculares entre géneros. Por ejemplo, sobresale que los hombres tienen una mayor actividad muscular, lo cual está correlacionado con la máxima generación de fuerza por velocidad durante el salto (potencia), y a su vez estas características neuromusculares mejoran la altura de un salto.

Conclusión

Cada año ingresan a la Esmic muchos estudiantes a primer nivel, los cuales están expuestos a rutinas militares exigentes que pueden desencadenar en lesiones, la mayor de las cuales se da en las extremidades inferiores; sin embargo, no se conocen las causas exactas.

Este estudio utilizó una prueba de salto contramovimiento y se estableció el perfil neuromuscular de miembros inferiores de los estudiantes que ingresan a la institución. Esto se hizo con el fin de determinar las principales características de sus miembros inferiores y así posibles causas de lesión durante el entrenamiento militar. Además, se estableció cómo es el comportamiento neuromuscular de miembros inferiores por género y se establecieron unos parámetros de comparación.

Agradecimientos

Los datos analizados en el presente estudio forman parte del proyecto institucional no financiado sobre “Factores de riesgo asociados a la presencia del síndrome de estrés tibial medial en alumnos en formación de la Escuela Militar”, proyecto que se ejecutó en cooperación entre la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” y el Centro de Medición de la Actividad Física (Cema) de la Universidad del Rosario.

Referencias

1. Rodríguez Gómez J, Valenzuela Pinzón J, Velasco Rodríguez J, Castro Jiménez L, Melo Buitrago P. Caracterización de las lesiones derivadas del entrenamiento físico militar. *Revista Cuidarte*. 2016; 7 (1): 1219. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3595/359543375010.pdf>
2. Castro Solano A, Casullo M. Predictores del rendimiento académico y militar de cadetes argentinos. Universidad de Murcia; 2004.
3. Gómez García S. Actualización sobre el síndrome de estrés tibial medial. *Rev. Cient. Gen. José María Córdova*. 2016; 14 (17): 225. doi: <https://doi.org/10.21830/19006586.13>
4. Thacker S, Branche C, Gilchrist J, Jones B, Sleet D, Kimsey C. Exercise-related injuries among women: strategies for prevention from civilian and military studies. *Morbidity and Mortality Weekly Report: Recommendations and Reports*, 2000; 49 (RR-2): 13-33.
5. Heir T. Musculoskeletal injuries in officer training: one-year follow-up. *Military Medicine*. 1998 abril; 163 (4): 229-233. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9575768-musculoskeletal-injuries-in-officer-training-one-year-follow-up/>
6. Jackson D, Bailey D. Shin splints in the young athlete: a nonspecific diagnosis. *The Physician and Sportsmedicine*. 1975 marzo; 3 (3): 44-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00913847.1975.11948158>
7. Heinrich K, Spencer V, Fehl N, Carlos Poston W. Mission Essential Fitness: comparison of functional circuit training to traditional army physical training for active duty military. *Military Medicine*. 2012 octubre; 177 (10): 1125-1130. DOI: <http://dx.doi.org/10.7205/milmed-d-12-00143>
8. Cormie P, Mccauley G, Triplett N, McBride J. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007 febrero; 39 (2): 340-349. DOI: <http://dx.doi.org/10.1249/01.mss.0000246993.71599.bf>
9. Klavora P. Vertical-jump Tests: A critical review. *Strength and Conditioning Journal*. 2000; 22 (5): 70-75
10. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004

- agosto; 18 (3): 551-555. DOI: [http://dx.doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
11. Welsh T, Alemany J, Montain S, Frykman P, Tuckow A, Young A et al. Effects of intensified military field training on jumping performance. *International Journal of Sports Medicine*. 2008 enero; 29 (1): 45-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-964970>
 12. Claudino J, Cronin J, Mezêncio B, McMaster D, McGuigan M, Tricoli V et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017 abril; 20 (4): 397-402. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
 13. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Cuadrado-Peñañel V, Conceição F, González-Badillo J, Morin J. Effect of countermovement on power–force–velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*. 2014 noviembre; 114 (11): 2281-2288. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-014-2947-1>
 14. Jiménez-Reyes P, González-Badillo J. Control de la carga de entrenamiento a través del CMJ en pruebas de velocidad y saltos para optimizar el rendimiento deportivo en atletismo. *Cultura Ciencia Deporte*. 2011; 6 (18): 207-217.
 15. Jiménez-Reyes P, Cuadrado-Peñañel V, González-Badillo J. Aplicación del CMJ para el control del entrenamiento en las sesiones de velocidad. *Cultura Ciencia Deporte*. 2011; 6 (17): 105-112.
 16. Toumi H, Poumarat G, Best T, Martin A, Fairclough J, Benjamin M. Fatigue and muscle–tendon stiffness after stretch–shortening cycle and isometric exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2006; 31 (5): 565-572. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/h06-034>
 17. Yáñez Constante C. Variables bioquímicas y del desempeño del salto contramovimiento para monitorizar la fatiga neuromuscular en deportistas de resistencia [tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia; 2016.
 18. Rodríguez Zárate N, Argothy Bucheli R, Acero Jáuregui J, Gómez Salazar L, Menzel H, Cohen D. Lineamientos de política pública en ciencias del deporte. En: *Biomecánica*. 1.ª ed. Bogotá: Coldeportes; 2018.
 19. Centeno Prada R. Valores de referencia para saltos en plataforma dinamométrica en una población de deportistas andaluces [tesis de doctorado]. Universidad Pablo de Olavide; 2013.
 20. Laffaye G, Wagner P, Tomblinson T. Countermovement jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014 abril; 28 (4): 1096-1105. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1db03>
 21. Chamari K, Chaouachi A, Hambli M, Kaouech F, Wisløff U, Castagna C. The five-jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008; 22 (3): 944-950.
 22. Loturco I, Ugrinowitsch C, Roschel H, Lopes Mellinger A, Gomes F, Tricoli V et al. Distinct temporal organizations of the strength- and power-training loads produce

- similar performance improvements. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013; 27 (1): 188-194.
23. Komi P. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 1984; 12 (1): 81-122.
 24. Bell D, Sanfilippo J, Binkley N, Heiderscheit B. Lean mass asymmetry influences force and power asymmetry during jumping in collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014 abril; 28 (4): 884-891. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000367>
 25. Benjanuvatra N, Lay B, Alderson J, Blanksby B. Comparison of ground reaction force asymmetry in one- and two-legged countermovement jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013 octubre; 27 (10): 2700-2707. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318280d28e>
 26. Menzel H, Chagas M, Szmuchrowski L, Araujo S, de Andrade A, de Jesus-Moraleida F. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013; 27 (5): 1370-1377. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a3c8>
 27. Rahmani A, Viale F, Dalleau G, Lacour J. Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2001 marzo; 84 (3): 227-232. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/PL00007956>
 28. Pasco CI6461. Force Platform [Internet]. 2019 [citado 8 de julio 2019]. Disponible en: <http://www.manualsdir.com/manuals/340843/pasco-ci-6461-force-platform.html>