

Article

# Efectos del Entrenamiento Pliométrico Unilateral Versus Bilateral sobre el Rendimiento de la Carrera de Resistencia

Ian J. Greenwood<sup>1</sup>, Anthony D. Kay<sup>2</sup> y Anthony W. Baross<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Sport Science, Milton Keynes College, Milton Keynes, United Kingdom<sup>2</sup>Faculty of Health and Society, Sport and Exercise Science, University of Northampton, Northampton, United Kingdom

## RESUMEN

El propósito del estudio fue investigar los efectos de una intervención de entrenamiento pliométrico unilateral versus bilateral de 11 semanas sobre el torque extensor de la rodilla con contracción voluntaria máxima isométrica (MVC), altura de salto con contramovimiento (CMJ), economía de carrera (RE) y rendimiento de tiempo de prueba de 3 km (TT). Veintisiete corredores de resistencia entrenados de forma recreativa (12 mujeres y 15 hombres) fueron asignados aleatoriamente a uno de los tres grupos: entrenamiento pliométrico unilateral (UPT; n = 9), entrenamiento pliométrico bilateral (BPT; n = 9) y control (CON; n = 9). Se midieron RE, VO<sub>2</sub>máx, TT de 3km en cinta rodante, MVC isométrica (bilateral y unilateral) y CMJ (bilateral y unilateral) antes y después de 11 semanas de entrenamiento (UPT y BPT; volumen equivalente, 20-40 minutos, 2-3 días/semana). Se utilizó un ANOVA de medidas repetidas bidireccional separado para evaluar las diferencias dentro y entre los grupos en RE, VO<sub>2</sub>máx, TT de 3 km, torque del extensor de rodilla MVC isométrico y CMJ. Después de 11 semanas de entrenamiento pliométrico, hubo mejoras significativas en ambos grupos para la RE (UPT 5.6%; BPT 4.9%, p <0.01), rendimiento de TT de 3 km (UPT 2.4%; BPT 2.5%, p <0,01) y CMJ (UPT 12.5%; BPT 14.5%, p <0,01). Además, el torque del extensor de rodilla MVC isométrico mejoró en el grupo unilateral (14.0%, p <0.01). No se detectaron diferencias significativas en el VO<sub>2</sub>máx ni en las medidas antropométricas (p >0.05). No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las intervenciones de entrenamiento (p >0.05) en ninguna medida. Estos datos demuestran que UPT y BPT dan como resultado mejoras similares en la RE y en el rendimiento de carrera de TT de 3 km en corredores de distancia recreativos.

## INTRODUCCIÓN

El rendimiento de la carrera de fondo depende de la compleja interacción de numerosos factores fisiológicos y biomecánicos. Los determinantes fisiológicos incluyen el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx), el umbral de lactato y la economía de carrera (RE) (3,15). La RE es la tasa submáxima de consumo de oxígeno (2) o el costo de energía de correr (11) a una velocidad de carrera dada, con valores más bajos que indican una mejor RE (20). La RE puede variar hasta en un 30% en corredores de resistencia homogéneos con respecto al VO<sub>2</sub>máx (2). Aunque los factores aeróbicos sustentan en gran medida el rendimiento de resistencia, se sabe que las características biomecánicas influyen en la RE, que se puede mejorar con el entrenamiento pliométrico (4,5,7).

Distintos parámetros biomecánicos pueden afectar a la RE, incluida la longitud de la zancada, los ángulos articulares de las extremidades inferiores y los factores neuromusculares asociados con la rigidez mecánica del sistema musculotendinoso (20,29). Las mejoras en este último se han asociado con el entrenamiento pliométrico (27). El entrenamiento pliométrico implica una contracción muscular excéntrica seguida inmediatamente por una contracción concéntrica para permitir que el músculo almacene y devuelva la energía elástica (5,31). Los estudios han demostrado un 4-8% de la RE mejorada después de 6-9 semanas de entrenamiento pliométrico estructurado que varía ampliamente en volúmenes e intensidades (5,22,27,28) además de mejoras concomitantes de 2.6-5% en 3 km y 5 km de carreras contrarreloj (TT) (5,22,23,28) en corredores de resistencia entrenados.

Además, un aumento crónico de la excitación muscular de los extensores de las piernas debido al entrenamiento de la fuerza y el pliométrico se ha correlacionado moderadamente con aumentos en la velocidad de la carrera y disminuciones en el consumo de oxígeno a velocidades submáximas (9,18,30).

Se han sugerido varios mecanismos para sustentar el potencial del entrenamiento pliométrico para influir en los cambios en la interacción músculo-tendón asociados con un mejor rendimiento de la RE y de la resistencia. Fletcher y MacIntosh (11) han propuesto que puede existir una rigidez óptima del tendón que reduce la velocidad y la magnitud del acortamiento muscular, lo que permite que las fibras musculares optimicen su longitud y operen en un estado más isométrico. Las contracciones isométricas requieren menos energía metabólica que las contracciones que resultan en una acortamiento o alargamiento activo para una producción de fuerza determinada (11). Además, una reducción en la velocidad de acortamiento del fascículo muscular disminuye el número de unidades motoras activas y, por lo tanto, el costo de energía (12). Son estos mecanismos los que se han sugerido para reducir el coste energético de correr siguiendo un programa estructurado de entrenamiento pliométrico.

Numerosos estudios han utilizado con éxito ejercicios unilaterales y bilaterales en una intervención de entrenamiento concurrente pliométrico y de resistencia para mejorar el rendimiento de la carrera a distancia y la RE. Se ha informado que los saltos bilaterales en caída han tenido un efecto positivo en la RE y el rendimiento de la prueba contrarreloj (5, 25). Además, los saltos, los rebotes y los brincos unilaterales y bilaterales combinados han demostrado mejoras significativas en la RE (22,23,27,28,31). Sin embargo, no se desprende claramente de la literatura disponible si cada método de entrenamiento pliométrico individualmente puede ofrecer beneficios superiores en la optimización de la rigidez de la unidad de tendón muscular en corredores de fondo.

Correr es un deporte bípedo con fases de apoyo de una sola pierna dentro de la zancada del atleta, por lo que la fuerza generada para mover al corredor hacia adelante proviene de la pierna propulsora individualmente en cada zancada (17,19). McCurdy y cols. (19) investigaron los efectos del entrenamiento pliométrico unilateral (UPT) y el entrenamiento pliométrico bilateral (BPT) sobre la altura del salto con contramovimiento (CMJ) y reportaron mayores mejoras en la altura del salto unilateral en el grupo UPT en comparación con el grupo BPT. Ramirez-Campillo y cols. (24) observaron un efecto de especificidad del entrenamiento similar en la altura y la distancia del salto, donde el UPT indujo mejoras significativamente mayores en las pruebas de CMJ unilaterales y el BPT condujo a aumentos significativamente mayores en los rendimientos del CMJ bilateral. Además, Bogdanis y cols. (6) informaron que el UPT es más eficaz que el BPT para aumentar la suma de la altura del CMJ de la pierna derecha e izquierda y la tasa de desarrollo de la fuerza. En conjunto, estos datos sugieren que el entrenamiento pliométrico debe reflejar los patrones unilaterales o bilaterales específicos que ocurren dentro del deporte. Sin embargo, hasta la fecha ninguna investigación ha comparado directamente el entrenamiento de fuerza y/o pliométrico unilateral y bilateral en una serie de variables de rendimiento de carrera, de fuerza, de potencia y de resistencia. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar los efectos del UPT y del BPT sobre la RE, rendimiento de resistencia, máximo torque extensor de rodilla isométrico con contracción voluntaria (MVC) y altura del CMJ, en corredores entrenados de forma recreativa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### Enfoque experimental del problema

Este estudio fue diseñado para abordar cómo un programa de entrenamiento pliométrico a corto plazo y de alta frecuencia (2-3 sesiones/semana) utilizando un alto volumen afecta la fuerza explosiva, la RE y el rendimiento de carrera TT de 3 km. Antes del comienzo de todas las medidas de referencia, los participantes se familiarizaron con todos los procedimientos de prueba y entrenamiento en un día separado y se habituaron a correr en cinta rodante en sus rutinas de entrenamiento regulares. Para estandarizar el estado de recuperación entre las visitas al laboratorio, los participantes fueron evaluados verbalmente para verificar si tenían fatiga indebida. Después de las medidas iniciales de base (medidas antropométricas, torque isométrico del extensor de rodilla con MVC, CMJ, RE, VO<sub>2</sub>máx, [día 1] y la prueba TT de 3 km [día 2]), los

participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los tres grupos: UPT (n = 9), BPT (n = 9) y control (CON; n = 9). Los grupos experimentales llevaron a cabo un programa de UPT o BPT de 11 semanas junto con el entrenamiento de carrera regular, mientras que el grupo CON sólo realizó su entrenamiento de carrera regular. Todas las pruebas se llevaron a cabo a la misma hora del día para evitar variaciones diurnas en el rendimiento y se les indicó a los individuos que consumieran un refrigerio típico antes del entrenamiento y que estuvieran bien hidratados (consumo de 500 ml de líquido) aproximadamente 3-4 horas antes de la prueba.

## **Participantes**

Veintisiete corredores de resistencia entrenados de forma recreativa (12 mujeres y 15 hombres; edad =  $35 \pm 6$  años; altura =  $1.7 \pm 0.1$  m; masa corporal =  $74.3 \pm 15.1$  kg;  $VO_{2\text{máx}}$ : hombres =  $53.5 \pm 6.3$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, mujeres =  $42.8 \pm 4.5$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, distancias de entrenamiento de carrera de 16-42 km por semana consistentes en los últimos 3 meses) sin antecedentes de entrenamiento pliométrico, participaron en el estudio. El entrenamiento pliométrico se definió como un ejercicio que exagera el ciclo de estiramiento-acortamiento para mejorar el almacenamiento y retorno de energía elástica dentro de los músculos y tendones (5). No se definieron antecedentes de entrenamiento pliométrico como ninguna experiencia previa de realizar un programa de entrenamiento pliométrico estructurado y no haber realizado ejercicios pliométricos en los 3 meses anteriores (28). Todos los participantes cumplieron con los criterios de la categoría "aparentemente saludable", según la definición del Colegio Americano de Medicina Deportiva (1). Se informó a los participantes de los beneficios y riesgos potenciales asociados con la investigación, completaron un cuestionario de preparación para la actividad física (1) y firmaron un consentimiento informado antes del inicio del estudio. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Northampton.

## **Procedimientos**

### ***Torque extensor de rodilla con MVC isométrica unilateral y bilateral.***

Los participantes inicialmente completaron un calentamiento de cinco minutos en una cinta de correr motorizada (HP Cosmos, Nuffendorf, Alemania) a 4-6 km·h<sup>-1</sup> seguido de un protocolo de estiramiento dinámico (6 repeticiones en cuádriceps, isquiotibiales y glúteos). Después de un período de recuperación de tres minutos, todos los participantes realizaron primero las contracciones isométricas bilaterales en un dinamómetro isocinético (Biodex System 3 Pro, IPRS, Suffolk, Reino Unido) con la rodilla y la cadera en una flexión de 90° para garantizar brazos de momento interno constante y las propiedades de la longitud de los músculos, respectivamente. El accesorio del dinamómetro se colocó proximal al tobillo con una posición idéntica utilizada en todas las pruebas de las sesiones experimentales para asegurar brazos de momento externo consistentes. Se realizaron cinco series (3 seg cada una) con un minuto de descanso entre las series. Se informó a los participantes que las dos primeras series fueron intentos de "calentamiento" realizados al 50% y 75% de la MVC percibida, seguidas de tres intentos máximos. Tres minutos más tarde, todos los participantes realizaron contracciones unilaterales (pierna preferida sólo según lo determinado por la pierna utilizada para patear en los deportes) con idéntica intensidad y períodos de descanso. Los datos se dirigieron desde el dinamómetro a un transductor de alto nivel (modelo HLT100C, Biopac, Goleta, CA) antes de la conversión de analógico a digital a una frecuencia de muestreo de 2000 Hz (modelo MP150 Data Acquisition, Biopac). A continuación, los datos se enviaron a una computadora personal que ejecutaba el software AcqKnowledge (v4.1, Biopac) y se filtraron utilizando un filtro de paso bajo Butterworth de 6 Hz y sin retardo. El torque del extensor de rodilla con MVC isométrica bilateral y unilateral se consideró como el torque máximo alcanzado durante los tres ensayos unilaterales y bilaterales, respectivamente. A los participantes se les dio estímulo verbal para que hicieran su máximo esfuerzo durante todas las pruebas.

### **Salto CMJ unilateral y bilateral**

Después de un período de recuperación de cinco minutos, los participantes completaron tests de CMJ unilaterales y bilaterales utilizando un sistema de colchoneta de salto electrónico portátil (FSL JumpMat, Chester, Reino Unido) para estimar la altura del salto. Durante las pruebas de CMJ, se indicó a los participantes que se pararan sobre una pierna (derecha y luego izquierda) para la prueba unilateral y con los pies separados al ancho de los hombros para la prueba bilateral. Se instruyó a los participantes para que realizaran un movimiento rápido hacia abajo (aproximadamente un ángulo de rodilla de 45°) seguido de un salto de esfuerzo máximo con los brazos para ayudar en la ejecución. Se recomendó a los participantes que aterrizaran en el mismo lugar que despegaron en cada prueba y tuvieron un período de recuperación de 3 minutos entre las pruebas unilaterales y bilaterales. Cada medida de CMJ se ejecutó 3 veces (alternando pierna derecha e izquierda para las pruebas unilaterales, con un período de recuperación de 30 seg entre todos los intentos unilaterales y bilaterales) con la altura máxima de salto para cada prueba registrada. A los participantes se les dio estímulo verbal para que hicieran su máximo esfuerzo durante todas las pruebas.

### **RE y VO<sub>2</sub>max**

Cinco minutos más tarde, los participantes comenzaron el protocolo de RE en la misma cinta rodante motorizada. Los

participantes corrieron a dos velocidades submáximas: 10 km·h<sup>-1</sup> (velocidad RE 1: RES1) y 11.5 km·h<sup>-1</sup> (velocidad RE 2: RES2) para mujeres y 11.5 km·h<sup>-1</sup> (RES1) y 13 km·h<sup>-1</sup> (RES2) para los hombres (inclinación del gradiente establecido en 0%) durante 5 minutos a cada velocidad con un período de recuperación de 5 minutos entre los bloques. Se registró un RER de <1.0 durante las pruebas de RE, lo que indica que un componente lento del VO<sub>2</sub> no era evidente para cada muestra (10). Cinco minutos después, los participantes completaron un test de VO<sub>2</sub>máx con una velocidad inicial que correspondía a su velocidad final de la RE. La inclinación se fijó en un gradiente del 1% durante toda la prueba de VO<sub>2</sub>máx con un aumento de la velocidad de la cinta en 1 km·h<sup>-1</sup> en etapas de 150 seg (1) durante toda la prueba de VO<sub>2</sub>máx hasta que se alcanzó el agotamiento volitivo (10:38±1:37 min/seg). El VO<sub>2</sub>máx se determinó como el valor más alto de VO<sub>2</sub> promedio móvil de 30 segundos además de la relación de intercambio respiratorio >1.15 y la frecuencia cardíaca dentro del 5% del máximo previsto para la edad. Se recogió el VO<sub>2</sub> respiro a respiro (Cortex Metalizer, Cranley, Birmingham, Reino Unido) a lo largo de cada una de las velocidades de RE y de las etapas de VO<sub>2</sub>máx. El VO<sub>2</sub> promedio durante los últimos 2 minutos a cada velocidad RE (RES1 y RES2) se tomó como el VO<sub>2</sub> en estado estable. El VO<sub>2</sub> en estado estable se definió como menos de 100 ml de cambio por min<sup>-1</sup> durante los últimos 2 minutos a cada velocidad RE (10). La RE a cada velocidad se expresó como costo de energía (kJ·kg<sup>-1</sup>·km<sup>-1</sup>) (10), lo que permite comparaciones individuales entre sexo y velocidades de carrera. El costo de energía se calculó como:

$$\text{Costo energético (kJ·kg}^{-1}\text{·km}^{-1}) = \text{VO}_2 \times \text{Eq. calórico} \times 4:1839 \text{ kJ kcal}^{-1} \text{ Vel}^{-1} \text{ BM}^{-1} \times 1,000$$

donde el VO<sub>2</sub> se mide en L·min<sup>-1</sup>, el equivalente calórico está en kcal·L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>, la velocidad (Vel) se mide en m·min<sup>-1</sup>, la masa corporal (BM) se mide en kg y 1,000 es m·km<sup>-1</sup>

### **Test de carrera de resistencia TT de 3 km**

Durante una segunda visita al laboratorio (48-96 horas después), los participantes realizaron un TT en cinta de correr de 3 km (PRECOR TRM833/P30, Camberley, Reino Unido) para evaluar el rendimiento en la carrera. Siguiendo el mismo protocolo de calentamiento y estiramiento dinámico realizado el día 1, a los participantes se les dio 1 minuto para establecer una velocidad de carrera cómoda antes del inicio del TT. Los participantes tenían autonomía sobre el control de la velocidad de la cinta de correr y sólo podían ver la distancia en la pantalla de la consola. Los participantes recibieron estímulo verbal durante la prueba para que dieran su mejor rendimiento en los 3 km y se les indicó que realizaran un esfuerzo constante en la distancia fija. El tiempo fue medido hasta el segundo más cercano.

### **Intervenciones de entrenamiento**

#### **Entrenamiento de resistencia**

Todos los participantes (UPT, BPT, CON) mantuvieron su entrenamiento de carrera regular (determinado por los registros del diario de entrenamiento) durante todo el período de la intervención. La intervención de entrenamiento se llevó a cabo durante el período de preparación general de la temporada de carreras de resistencia.

#### **Entrenamiento pliométrico**

La Tabla 1 muestra los programas UPT y BPT de 11 semanas. El principio de sobrecarga progresiva se incorporó al plan de entrenamiento aumentando el contacto total del pie cada semana en una forma de carga escalonada de 4 semanas y variando la complejidad de los ejercicios realizados. Los participantes asistieron a una sesión supervisada cada semana dirigida por el autor para garantizar la coherencia de la ejecución del ejercicio. Las sesiones de entrenamiento semanales restantes para cada grupo experimental no fueron supervisadas, pero fueron monitoreadas de forma remota semanalmente. Los participantes de UPT y BPT recibieron orientación por video de ejercicios antes de la semana 1. La semana 1 involucró la familiarización de los programas de entrenamiento pliométrico a través de demostración e instrucción supervisadas. Todos los participantes experimentales demostraron un buen nivel de competencia con los ejercicios pliométricos en la primera semana de entrenamiento. Todos los entrenamientos pliométricos tuvieron al menos 24 horas entre sesiones y fueron programados a la misma hora del día (±2 horas). Antes de cada sesión de entrenamiento pliométrico, los participantes se sometieron a un calentamiento y estiramiento dinámicos de 10 minutos (balanceo de piernas, rebotes de tobillo, saltos verticales y saltos a aproximadamente el 50% del esfuerzo máximo). El volumen de entrenamiento pliométrico de ambos grupos experimentales fue igualado por los participantes que completaron el mismo número total de saltos de contacto con el pie por sesión y por semana.

Los detalles del entrenamiento en relación con el número de contactos con los pies se dan en la Tabla 1. La intensidad del entrenamiento para ambos grupos fue igualada para los ejercicios de salto en cajón sólo mediante la reducción de la altura del salto en un 50% para el UPT en comparación con el grupo BPT. Todas las sesiones de entrenamiento se realizaron en la misma superficie de entrenamiento (césped y piso de madera con resortes). Las sesiones de entrenamiento pliométrico duraron de 20 a 40 minutos y se instruyó a los participantes para que hicieran su máximo esfuerzo para todos los ejercicios en cada sesión utilizando movimientos rápidos excéntricos/concéntricos. Blagrove (8) ofrece representaciones visuales

para cada uno de los ejercicios UPT y BPT.

**Tabla 1.** Programa de entrenamiento pliométrico de 11 semanas.

		UPT										
		Sets x repetitions										
		2 sessions/ week			3 sessions/ week							
Exercise	Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CMJ - right leg		1x5	2x5	3x5	3x5	1x5	2x5	3x5	4x5	2x5	3x5	4x5
CMJ - left leg		1x5	2x5	3x5	3x5	1x5	2x5	3x5	4x5	2x5	3x5	4x5
SLJ - right leg		1x5	2x5	3x5	3x5	2x5	2x5	3x5	4x5	2x5	3x5	4x5
SLJ - left leg		1x5	2x5	3x5	3x5	2x5	2x5	3x5	4x5	2x5	3x5	4x5
Ankle hops (on the spot) - right leg		1x6	3x6	3x6	4x6	2x6	3x6	3x6	4x6	3x6	3x6	4x6
Ankle hops (on the spot) - left leg		1x6	3x6	3x6	4x6	2x6	3x6	3x6	4x6	3x6	3x6	4x6
Alternate leg bounds		1x10	1x10	2x10	3x10	1x10	2x10	3x10	4x10	2x10	3x10	4x10
Alternate-leg box push-offs (30cm box)		1x10		2x10	3x10	1x10	2x10	3x10	4x10	2x10	3x10	4x10
Single leg bounds - right leg		1x5			2x5	1x5	2x5	3x5	4x5	2x5	3x5	4x5
Single leg bounds - left leg		1x5			2x5	1x5	2x5	3x5	4x5	2x5	3x5	4x5
Single leg box jumps (22.5cm) - right leg		1x5					1x5	2x5	3x5	2x5	3x5	4x5
Single leg box jumps (22.5cm) - left leg		1x5					1x5	2x5	3x5	2x5	3x5	4x5
<b>Total foot contacts</b>		<b>72</b>	<b>86</b>	<b>136</b>	<b>188</b>	<b>84</b>	<b>146</b>	<b>206</b>	<b>278</b>	<b>156</b>	<b>216</b>	<b>288</b>

  

		BPT										
		Sets x repetitions										
		2 sessions/ week			3 sessions/ week							
Exercise	Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CMJ		1x10	2x10	3x10	3x10	1x10	2x10	3x10	4x10	2x10	3x10	4x10
SLJ		1x10	2x10	3x10	3x10	2x10	2x10	3x10	4x10	2x10	3x10	4x10
Two foot ankle hops (on the spot)		1x12	3x12	3x12	4x12	2x12	3x12	3x12	4x12	3x12	3x12	4x12
Squat jumps (hands on hips)		1x10	1x10	2x10	3x10	1x10	2x10	3x10	4x10	2x10	3x10	4x10
Continuous double leg hurdle jumps (hands on hips)		1x10		2x10	3x10	1x10	2x10	3x10	4x10	2x10	3x10	4x10
Double leg bounds (continuous horizontal)		1x10			2x10	1x10	2x10	3x10	4x10	2x10	3x10	4x10
Box jumps (45cm)		1x10					1x10	2x10	3x10	2x10	3x10	4x10
<b>Total foot contacts</b>		<b>72</b>	<b>86</b>	<b>136</b>	<b>188</b>	<b>84</b>	<b>146</b>	<b>206</b>	<b>278</b>	<b>156</b>	<b>216</b>	<b>288</b>

UPT; entrenamiento pliométrico unilateral, BPT; entrenamiento pliométrico bilateral, CMJ; salto con contramovimiento, SLJ; salto en largo de pie

## Análisis estadístico

Las variables independientes se definieron en términos del tipo de entrenamiento: entrenamiento de carrera regular más UPT o BPT para los grupos experimentales y entrenamiento de carrera regular sólo para el grupo CON. Se utilizó IBM SPSS Statistics (software v.22) para todos los cálculos estadísticos. Se cumplieron los supuestos paramétricos para cada variable dependiente, incluida la homogeneidad de la varianza, utilizando la prueba de Levene para entre grupos y la prueba de esfericidad de Mauchly para la varianza igual dentro de los grupos. Se utilizó un ANOVA de una vía para evaluar las diferencias entre los grupos en el volumen semanal de kilómetros recorridos. Se utilizaron ANOVA de medidas repetidas bidireccionales separados para evaluar las diferencias dentro y entre los grupos en todas las demás variables dependientes. Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples con la corrección de Bonferroni para identificar la ubicación de los efectos principales de los ANOVA. Para determinar la magnitud del cambio dentro del grupo en las variables, se calcularon los tamaños del efecto *d* (ES) de Cohen con intervalos de confianza del 95% (IC del 95%). Los criterios para interpretar la magnitud del ES fueron 0.0-0.29 trivial, 0.30-0.59 pequeña, 0.60-1.19 moderada, 1.20-1.99 grande y >2.0 muy grande (14). La confiabilidad dentro de la sesión para el torque del extensor de rodilla con MVC isométrica unilateral y bilateral y la altura del salto CMJ se determinó utilizando las tres pruebas completadas en la sesión de evaluación previa al entrenamiento mediante el cálculo de coeficientes de correlación intraclase (ICC) con intervalos de confianza (IC) del 95% y coeficientes de variación (CV). No se detectaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los ensayos intrasesión para el torque unilateral o bilateral o la altura del salto con excelente

confiabilidad reportada para el torque unilateral (ICC = 0.999 [IC 95% = 0.998-1.000], CV = 1.7%), torque bilateral (ICC = 1.000 [IC del 95% = 0.999-1.000], CV = 1.1%), altura del salto CMJ unilateral (ICC de la extremidad derecha = 0.988 [IC del 95% = 0.977-0.994], CV = 5.9%; ICC de la extremidad izquierda = 0.995 [IC 95% = 0.990-0.997], CV = 4.5%) y altura del salto CMJ bilateral (ICC = 0.995 [95% IC = 0.990-0.997], CV = 3.4%). El nivel de significancia se fijó en  $p < 0.05$ . Todos los datos se presentan como media  $\pm$ SD.

## RESULTADOS

Todos los participantes ( $n = 27$ ) completaron el programa de entrenamiento de 11 semanas, es decir, entrenamiento de carrera regular más UPT o BPT para los grupos experimentales, con el grupo CON participando sólo en el entrenamiento de carrera regular. El cumplimiento del entrenamiento fue muy alto en ambos grupos, con los participantes del UPT asistiendo al 97% y los participantes del BPT al 99% de las sesiones de entrenamiento pliométrico supervisadas una vez por semana. No se detectaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en ninguna variable dependiente en los datos de línea de base entre los grupos (Tabla 2), o para el volumen promedio semanal de carrera durante el período de 11 semanas entre los grupos (Tabla 3). No hubo cambios significativos ( $p > 0.05$ ) en la masa corporal, VO<sub>2</sub>máx (Tabla 2), o en el volumen de carrera semanal promedio (Tabla 3) durante el período de entrenamiento pliométrico de 11 semanas dentro de los grupos experimentales o CON.

### RE, TT de 3 km

Después del entrenamiento, el grupo UPT mostró una mejora significativa en RES1 ( $4.9 \pm 1.5\%$ , ES = 1.14 [IC = 0.26 - 1.92],  $p = 0.001$ ), RES2 ( $6.2 \pm 1.2\%$ , ES = 1.23 [CI = 0.33 - 2.01],  $p = 0.001$ ) y TT de 3 km ( $2.4 \pm 2.0\%$ , ES = 0.17 [IC = -0.61 - 0.94],  $p = 0.001$ ) (Tabla 2). Del mismo modo, los grupos de BPT también mostraron una mejora significativa en RES1 ( $5.0 \pm 0.7\%$ , ES = 1.20 [IC = 0.31 - 1.98],  $p = 0.001$ ), RES2 ( $4.7 \pm 2.0\%$ , ES = 1.37 [IC = 0.45 - 2.16],  $p = 0.001$ ) y TT de 3 km ( $2.5 \pm 1.1\%$ , ES = 0.26 [IC = -0.53 - 1.02],  $p = 0.001$ ) (Tabla 2). En el grupo CON no hubo aumento significativo en RES1 ( $0.1 \pm 1.4\%$ , ES = 0.00 [CI = -0.78 - 0.78],  $p = 0.805$ ), RES2 ( $0.9 \pm 1.0\%$ , ES = 0.36 [CI = -0.44 - 1.13],  $p = 0.806$ ) y TT de 3 km ( $0.2 \pm 0.2\%$ , ES = 0.01 [IC = -0.77 - 0.78],  $p = 0.717$ ) (Tabla 2). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna medida entre los grupos ( $p > 0.05$ ). Se registró un RER de  $< 1.0$  durante todas las pruebas de RE, lo que indica que no se evidenció ningún componente lento del VO<sub>2</sub> y que cualquier consumo de oxígeno fue para la locomoción más que para la eliminación de metabolitos.

### Torque extensor de rodilla con MVC isométrica unilateral y bilateral

No se observaron diferencias significativas después del período de intervención del entrenamiento para el torque extensor de rodilla con MVC isométrica bilateral en el grupo UPT ( $-1.8 \pm 11.4\%$ , ES = 0.11 [IC = -0.67 - 0.88],  $p = 0.482$ ), en el grupo BPT ( $-2.4 \pm 12.3\%$ , ES = 0.10 [IC = -0.68 - 0.87],  $p = 0.380$ ) o en el grupo CON ( $-2.4 \pm 9.0\%$ , ES = 0.14 [IC = -0.64 - 0.91],  $p = 0.331$ ) (Tabla 2). Sin embargo, el torque extensor de rodilla con MVC isométrica unilateral para el grupo UPT mejoró significativamente después del programa de entrenamiento ( $10.8 \pm 15.1\%$ , ES = 0.41 [IC = -0.39 - 1.18],  $p = 0.009$ ) (Tabla 2) sin cambios significativos identificados dentro del grupo BPT ( $-1.1 \pm 14.0\%$ , ES = 0.12 [IC = -0.66 - 0.89],  $p = 0.445$ ) o del grupo CON ( $2.3 \pm 12.9\%$ , ES = 0.03 [IC = -0.80 - 0.75],  $p = 0.853$ ) (Tabla 2). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna medida entre los grupos ( $p > 0.05$ ).

### Salto CMJ unilateral y bilateral

Tras la intervención del entrenamiento, los grupos UPT y BPT mostraron una mejora significativa en las 3 medidas del salto CMJ: unilateral derecho (UPT  $13.7 \pm 12.2\%$ , ES = 0.42 [IC = -0.38 - 1.18],  $p = 0.001$ ; BPT  $15.9 \pm 9.9\%$ , ES = 0.64 [IC = -0.18 - 1.40],  $p = 0.001$ ), unilateral izquierdo (UPT  $16.2 \pm 18.7\%$ , ES = 0.44 [IC = -0.36 - 1.21],  $p = 0.001$ ; BPT  $14.9 \pm 9.4\%$ , ES = 0.51 [IC = -0.30 - 1.27],  $p = 0.001$ ) y bilateral (UPT  $7.7 \pm 10.1\%$ , ES = 0.27 [IC = -0.52 - 1.04],  $p = 0.002$ ; BPT  $12.6 \pm 6.1\%$ , ES = 0.56 [IC = -0.25 - 1.33],  $p = 0.001$ ) (Tabla 2). En el grupo CON no hubo cambios significativos en el unilateral derecho ( $0.5 \pm 4.1\%$ , ES = 0.02 [IC = -0.76 - 0.79],  $p = 0.815$ ), unilateral izquierdo ( $1.6 \pm 5.6\%$ , ES = 0.04 [IC = -0.74 - 0.81],  $p = 0.668$ ), o medidas de CMJ bilaterales ( $-0.6 \pm 3.1\%$ , ES = 0.01 [IC = -0.77 - 0.79],  $p = 0.873$ ) (Tabla 2). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna medida entre los grupos ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 2. Valores fisiológicos, de fuerza y de rendimiento para las semanas 0 y 11.**

	Mean + SD (95% CI) group data					
	UPT (n = 9)		BPT (n = 9)		CON (n = 9)	
	W0	W11	W0	W11	W0	W11
<b>Physiology</b>						
Body mass (kg)	69.3 ± 14.7 (59.2–79.3)	69.7 ± 14.9 (59.6–79.9)	81.5 ± 19.5 (71.4–91.5)	81.6 ± 19.9 (71.5–91.8)	72.2 ± 6.5 (62.2–82.2)	71.5 ± 5.9 (61.3–81.6)
VO <sub>2</sub> max (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	49.8 ± 7.2 (46.2–53.3)	49.8 ± 7.1 (46.3–53.3)	45.5 ± 3.8 (41.9–49.1)	45.3 ± 3.6 (41.7–48.8)	48.6 ± 3.8 (44.9–52.2)	48.8 ± 3.9 (45.2–52.3)
RES1 (kj.kg <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )	4.23 ± 0.23 (4.0–4.4)	4.02 ± 0.12** (3.9–4.1)	4.28 ± 0.18 (4.1–4.4)	4.07 ± 0.17** (3.9–4.2)	4.13 ± 0.05 (4.1–4.2)	4.13 ± 0.07 (4.1–4.2)
RES2 (kj.kg <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )	4.34 ± 0.29 (4.1–4.6)	4.06 ± 0.14** (4.0–4.2)	4.21 ± 0.16 (4.1–4.3)	4.01 ± 0.13** (4.0–4.1)	4.16 ± 0.09 (4.1–4.2)	4.12 ± 0.03 (4.1–4.2)
<b>Strength</b>						
<b>MVC</b>						
Unilateral dominant leg (Nm)	163.9 ± 48.3 (129.9–197.9)	183.7 ± 47.4** (153.3–213.9)	197.3 ± 50.0 (163.3–231.3)	191.9 ± 41.7 (161.6–222.2)	181.2 ± 49.9 (147.2–215.2)	182.5 ± 42.8 (152.1–212.8)
Bilateral (Nm)	321.6 ± 97.3 (244.4–398.7)	311.6 ± 86.2 (243.8–379.3)	379.9 ± 126.9 (302.8–457.1)	367.4 ± 120.8 (299.6–435.1)	334.8 ± 110.2 (257.7–411.9)	321.0 ± 84.1 (253.2–388.7)
<b>CMJ</b>						
Bilateral (cm)	31.6 ± 8.3 (25.7–37.4)	33.9 ± 8.8** (27.7–40.1)	29.7 ± 6.1 (23.8–35.6)	33.4 ± 7.2** (27.2–39.7)	32.2 ± 10.6 (26.3–38.1)	32.1 ± 10.8 (25.9–38.3)
Unilateral right leg (cm)	17.1 ± 5.0 (13.7–20.5)	19.2 ± 5.1** (15.7–22.7)	15.3 ± 3.5 (11.9–18.7)	17.7 ± 3.8** (14.2–21.2)	15.9 ± 6.0 (12.5–19.3)	16.0 ± 6.1 (12.5–19.5)
Unilateral left leg (cm)	17.0 ± 5.2 (13.4–21.0)	19.2 ± 4.8** (15.7–22.7)	16.1 ± 4.4 (12.5–19.7)	18.3 ± 4.4** (14.8–21.8)	15.8 ± 5.9 (12.2–19.3)	16.0 ± 5.9 (12.5–19.4)
<b>Performance</b>						
3-km TT performance (min:s)	13:19 ± 1:45 (12:10–14:20)	13:01 ± 1:47** (11:50–14:10)	13:48 ± 1:25 (12:40–14:50)	13:27 ± 1:18** (12:10–14:40)	13:32 ± 1:41 (12:20–14:40)	13:31 ± 1:41 (12:20–14:40)

SD; desviación estándar, CI; intervalo de confianza, UPT; grupo de entrenamiento pliométrico unilateral, BPT; grupo de entrenamiento pliométrico bilateral, CON; grupo de control, w; semana, kg; kilogramos, VO<sub>2</sub>máx; consumo máximo de oxígeno, MVC; torque isométrico máximo de los extensores de las piernas, CMJ; salto con contramovimiento, Nm; Newton-metros, cm; centímetros, min:seg; minutos: segundos, \*; significativo p <0.05 dentro de los grupos, \*\*; significativo p <0.01 dentro de los grupos.

**Tabla 3. Valores de volumen de entrenamiento semanal de carrera para las semanas 0 y 11.**

	Mean + SD (95% CI) group data					
	UPT (n = 9)		BPT (n = 9)		CON (n = 9)	
	W0	W11	W0	W11	W0	W11
Weekly running volume (km)	34.9 ± 3.5 (32.2–37.7)	35.5 ± 2.8 (33.3–37.6)	35.5 ± 4.1 (32.3–38.6)	33.1 ± 4.6 (29.6–36.6)	33.6 ± 4.9 (29.9–37.4)	34.9 ± 4.7 (31.3–38.5)

SD; desviación estándar, CI; intervalo de confianza, UPT; grupo de entrenamiento pliométrico unilateral, BPT; grupo de entrenamiento pliométrico bilateral, CON; grupo de control, w; semana, km; kilómetros.

## DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue comparar el efecto de un programa de UPT de 11 semanas vs uno de BPT sobre la RE y el rendimiento de carrera de resistencia en TT en corredores de distancia entrenados de forma recreativa. El principal hallazgo del presente estudio indica que los entrenamientos UPT y BPT de muy alto volumen mejoraron significativamente la RE, el rendimiento en la carrera TT de 3 km y la fuerza explosiva (altura del salto) en un grado similar en corredores de resistencia recreativos. Estos resultados sugieren que para optimizar el rendimiento de la carrera de resistencia, un

entrenamiento UPT o BPT debe agregarse simultáneamente a un programa de entrenamiento de carrera regular.

Ambos grupos pliométricos mostraron una mejora significativa en el rendimiento de TT de 3 km (2.4-2.5%, ES = 0.17-0.26) sin diferencias significativas entre los grupos. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas, aunque en períodos de tiempo más cortos (6-9 semanas), en corredores de distancia competitivos que notaron mejoras similares en el rendimiento de carrera de TT después de un entrenamiento pliométrico bilateral o unilateral y bilateral (5,22,23,25,28). Un estudio reciente (23) examinó los efectos del entrenamiento pliométrico sobre el rendimiento de la carrera TT. Veinticinco corredores entrenados incluyeron 2-3 sesiones de ejercicios pliométricos unilaterales y bilaterales de alto volumen, intensidad baja-moderada por semana durante 6 semanas a un programa de entrenamiento de resistencia regular. Los autores encontraron una mejora significativa en el rendimiento del TT de 3 km (2.6%). Otros autores (5,25) informaron magnitudes marginalmente mayores de mejora en las carreras de TT (5.0% y 3.9%, respectivamente) después de un período de entrenamiento pliométrico bilateral de alta intensidad y bajo volumen de 6-8 semanas en corredores de distancia moderadamente a bien entrenados (ES = 0.4). Los participantes en el estudio actual realizaron un programa de entrenamiento pliométrico unilateral o bilateral de muy alto volumen (>200 contactos de pie por sesión), de baja intensidad. Si bien el volumen de contacto del pie en el presente estudio fue inusualmente alto para los grupos UPT y BPT (semanas 7, 8, 10, 11, Tabla 3) en comparación con los 30-228 contactos del pie por sesión informados en una revisión sistemática reciente (7), los participantes no informaron lesiones. Estos resultados apoyan la investigación existente que informa mejoras en el rendimiento de la carrera de distancia a través de un programa de entrenamiento pliométrico estructurado, aunque la intensidad del ejercicio puede ser de mayor importancia que cualquiera de los modos (UPT versus BPT) o el volumen de entrenamiento. El presente estudio muestra que cualquiera de los modos de entrenamiento pliométrico representa una forma eficiente en el tiempo y rentable (requisitos mínimos de equipo) para entrenar sin aumentar el volumen de carrera semanal.

En el presente estudio, ambos grupos pliométricos mostraron una mejora significativa en la RE en las dos velocidades de carrera (4.9-5.6%, ES = 1.1-1.3) sin diferencias significativas entre los grupos. En un estudio reciente (5), once corredores de resistencia moderadamente a bien entrenados agregaron una sesión adicional de entrenamiento pliométrico bilateral de bajo volumen y alta intensidad por semana durante 8 semanas a su entrenamiento habitual de carrera de resistencia. Informaron una gran mejora en la RE (7%, ES = 1.01) mientras que el VO<sub>2</sub>máx se mantuvo sin cambios. Los programas de entrenamiento pliométrico anteriores utilizados para mejorar la RE han demostrado magnitudes de mejora más bajas (3.0-6.0%) después de 6-9 semanas de 2-3 sesiones de entrenamiento pliométrico unilateral y bilateral de intensidad moderada a alta, intensidad baja a moderada combinadas por semana en corredores de distancia moderadamente a bien entrenados (27,28,31) sin cambios en el VO<sub>2</sub>máx. Varios factores pueden haber contribuido a la magnitud de las diferencias de cambio en la RE entre los programas de entrenamiento pliométrico de bajo volumen, alta intensidad versus alto volumen y baja intensidad. Cambios morfológicos (propiedades de la unidad músculo-tendinoso) y neurales (reclutamiento de unidades motoras, coordinación intermuscular) en el sistema musculotendinoso (4) pueden haber sido influenciados por el tipo de ejercicio pliométrico (18). Se ha propuesto que las mejoras en la fuerza explosiva se pueden atribuir a un aumento en el reclutamiento de la unidad motora que permite que los músculos de las extremidades inferiores resistan la carga excéntrica durante la postura del ciclo de marcha en la carrera, lo que facilita una contracción isométrica con mayor eficiencia energética (7,11,26).

Es posible que tales ejercicios pliométricos de ciclo de acortamiento/estiramiento rápido utilizados por Berryman y cols. (5) la RE mejoró en un grado mayor que el visto en los estudios actuales y anteriores como resultado de un mejor reclutamiento de unidades motoras y el desarrollo de una rigidez mecánica más óptima del sistema musculotendinoso. Se necesitan más investigaciones para determinar los mecanismos exactos de los diferentes tipos de contracciones musculares como resultado de la fuerza explosiva y el entrenamiento pliométrico en la RE.

En el presente estudio, sólo el UPT mejoró significativamente el torque del extensor de rodilla con MVC isométrica unilateral (10.8%, ES = 0.41) después del entrenamiento. Investigaciones anteriores (9,18,22,30) demuestran hallazgos equívocos del cambio en la fuerza isométrica máxima de los extensores de las piernas (0-10%) donde se ha investigado el impacto de las características neuromusculares en la RE y el rendimiento de resistencia en períodos cortos (6 -9 semanas). Desde una perspectiva neuromuscular, un aumento en el reclutamiento de unidades motoras absolutas como resultado del entrenamiento de la fuerza explosiva conduciría a una menor intensidad relativa por unidad motora, retrasando así la activación de fibras de tipo II metabólicamente ineficientes durante la carrera de distancia (4,7,11). La producción de fuerza relativa más baja que se observa comúnmente durante el entrenamiento de la fuerza bilateral y de fuerza explosiva (6,13,17) puede explicar la falta de un cambio significativo en el torque del extensor de rodilla con MVC isométrica en el grupo BPT.

A pesar de que ambos grupos pliométricos mejoraron significativamente todas las medidas del salto con CMJ después de 11 semanas sin diferencias significativas entre los grupos, la magnitud de la mejora en el CMJ bilateral de BPT (12.6%, ES = 0.56) fue mayor que después de UPT (7.7%, ES = 0.27). Teóricamente, una función mejorada del ciclo de acortamiento-estiramiento como se evidencia en la medida del CMJ bilateral, resultaría de velocidades de movimiento más altas y



mayores producciones de fuerza absoluta generadas a través del BPT (17,18). La adaptación morfológica más importante del entrenamiento pliométrico citada en la literatura (3,11,28) como se mencionó anteriormente, parece ser una rigidez y elasticidad óptimas de la unidad músculo-tendinosa que se logra mediante una reducción en la magnitud y velocidad del acortamiento muscular, permitiendo así que las fibras musculares resistan mejor la carga excéntrica y permanezcan en un estado isométrico energéticamente eficiente. Posiblemente, esto explicaría la mejora en el rendimiento de carrera de la RE y del test de TT de 3 km observado en el grupo BPT.

Debe reconocerse que el presente estudio no está exento de limitaciones. Sólo una de las sesiones de entrenamiento pliométrico semanales fue supervisada y el entrenamiento de resistencia de todos los participantes fue autoinformado durante el período de 11 semanas, aunque se continuó el contacto semanal para garantizar que el entrenamiento se mantuviera durante todo el programa. Una segunda limitación fue que la fase del ciclo menstrual en la que se realizó la prueba no se controló en las participantes femeninas que no usaban un anticonceptivo hormonal. De manera similar, el uso de la cinta durante la prueba TT de 3 km puede ser problemático porque la carrera por tierra probablemente ofrecería mayor validez y confiabilidad a medida que un participante se acerca al agotamiento, donde la velocidad y el ritmo son más fáciles de cambiar. Además, las velocidades de la cinta rodante para la RE no se seleccionaron en relación con las capacidades fisiológicas de cada participante, lo que posiblemente comprometa la validez externa de los hallazgos. Finalmente, aleatorizar el orden de las pruebas isométricas de MVC y del CMJ y seleccionar un ángulo de rodilla más efectivo para las pruebas de CMJ (17) habría mejorado la validez del estudio.

## APLICACIONES PRÁCTICAS

---

El objetivo final del programa de entrenamiento de un corredor de fondo es mejorar el rendimiento y minimizar el riesgo de lesiones. El propósito del presente estudio fue comparar los efectos de un UPT vs un BPT, que se emparejaron por volumen e intensidad en el rendimiento de carrera de la RE y de la prueba de TT en corredores de distancia masculinos y femeninos entrenados de forma recreativa. Los resultados indican que el BPT puede ser más seguro debido a un menor riesgo de lesiones asociado con el déficit de fuerza bilateral (13,17,21) y es igualmente eficaz que el UPT para mejorar el rendimiento en carreras de distancia. Una reducción en el impacto relativo de las extremidades inferiores sobre las estructuras articulares y tisulares por el salto bilateral podría ser de mayor beneficio para los corredores que realizan un entrenamiento de resistencia semanal de alto volumen que tienen una mayor exposición al riesgo de lesiones asociado con la carrera de alto kilometraje (21). Por lo tanto, los entrenadores deben planificar un programa de BPT periodizado que enfatice los ejercicios de alto volumen y baja intensidad para apoyar la optimización del rendimiento en corredores de distancia masculinos y femeninos entrenados de forma recreativa.

## AGRADECIMIENTOS

---

Los autores agradecen a todos los corredores que participaron en el estudio. Los autores no tienen conflictos de intereses que sean relevantes para el contenido de este artículo. No se obtuvo financiación para apoyar este estudio.

## REFERENCIAS

---

1. Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original. (2021). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.36>.

### Cita Original

Greenwood, I., Kay, A., & Baross, A. (2021). Effects of Unilateral Versus Bilateral Plyometric Training on Endurance Running Performance. *International Journal of Strength and Conditioning*, 1(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.36>