

Entrenamiento pliométrico con restricción del flujo sanguíneo y potencia muscular de adultos no entrenados

Roberto C. Rebolledo-Cobos¹, Emerson Navarro-Castillo², Yoly Yepes-Charris³, Eulalia Amador Rodero⁴, Jerri Luiz Ribeiro⁵, Thiago Rozales Ramis⁵, Moacir Marocolo⁶, André de Assis Lauria⁷, Bruno C. Teixeira⁸

¹Fisioterapeuta. Magíster en Actividad Física y Salud. Programa de Fisioterapia. Universidad Metropolitana. Barranquilla-Colombia. ²Fisioterapeuta. Programa de Fisioterapia. Universidad Libre. Barranquilla-Colombia. ³Fisioterapeuta. Doctora en Neurociencia Cognitiva Aplicada. Programa de Fisioterapia. Universidad Metropolitana. Barranquilla-Colombia. ⁴Fisioterapeuta. Doctora en Investigación en Ciencias de la Salud. Programa de Fisioterapia. Universidad Libre. Barranquilla-Colombia. ⁵Profesional en Educación Física. Universidad Federal de Rio Grande do Sul. ⁶Profesional en Educación Física, Universidad Federal de Juiz de Fora. ⁷Profesional en Educación Física. Universidad del Estado de Minas Gerais. ⁸Profesional en Educación Física. Doctor en Ciencias del Movimiento Humano. Universidad del Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00168

Recibido: 26/06/2023
Aceptado: 21/03/2024

Resumen

Introducción: El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (ERF) estimula la ganancia de fuerza y masa muscular. Es eficiente en modalidades de baja carga semanal de entrenamiento. No se ha dilucidado el entrenamiento con restricción de flujo puedan tener influencia en la potencia muscular, tampoco su utilidad en el entrenamiento pliométrico. El desarrollo de la potencia es un indicador clave de salud y funcionalidad del ser humano.

Objetivo: Comprobar el efecto del entrenamiento pliométrico de baja carga con o sin restricción del flujo sanguíneo en la ganancia de potencia muscular medida a través de saltos verticales de individuos varones, sanos y no entrenados.

Material y método: Se plantea un estudio cuasiexperimental, en 18 hombres adultos sanos sin entrenamiento de la fuerza previo. Fueron divididos en dos grupos, un grupo realizó dos sesiones semanales por cuatro semanas de ejercicios pliométricos con restricción de flujo, grupo ERF (n = 9; 22,77 ± 5,11 años) y otro con ejercicios pliométricos convencionales, grupo EC (n = 9; 21,66 ± 4,21 años). Previa a la distribución en grupos se realizó una caracterización antropométrica. Antes y después de protocolo de entrenamiento fueron medidas la fuerza máxima (*leg press* – 1 repetición máxima), la potencia muscular (*Squat Jump* y *Counter Movement Jump*), el perímetro y pliegue del muslo.

Resultados: La comparación de medias de características antropométricas previa no mostró diferencias entre los grupos. En promedio, la potencia y potencia relativa aumentó de forma significativa en ambos grupos (P-valor <0,05). En comparación al grupo EC, la media del grupo ERF fue significativamente mayor en los indicadores la prueba de salto sin contra movimiento (P-valor <0,05). La fuerza y el perímetro del muslo solo aumentó de forma significativa en el grupo ERF.

Conclusión: El programa de entrenamiento pliométrico con restricción parcial de flujo mostró mayores adaptaciones en la potencia, fuerza y crecimiento muscular que el grupo sin restricción.

Palabras clave:

Ejercicios pliométricos.
Entrenamiento de la fuerza.
Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.
Entrenamiento físico.
Medicina del deporte.

Plyometric training with blood flow restriction and muscle power of untrained adults

Summary

Introduction: Anaerobic training with blood flow restriction stimulates the gain of strength and muscle mass. It is efficient in low weekly training load modalities. It has not been elucidated whether flow-restricted training modalities can influence muscle power, nor their usefulness in plyometric training. Power development is a key indicator of human health and functional integrity.

Objective: To test the effect of low-load plyometric training with or without blood flow restriction on muscle power gains measured by vertical jumps in healthy, untrained male individuals.

Material and method: A quasi-experimental study was carried out in 18 healthy adult men with no previous strength training. They were divided into two groups, one group performed two weekly sessions for four weeks of plyometric exercises with partial blood flow restriction, ERF group (n = 9; 22.77 ± 5.11 years) and another with conventional plyometric exercises, EC group (n = 9; 21.66 ± 4.21 years). Prior to group distribution, an anthropometric characterization was performed. Before and after the training protocol, maximum strength (*leg press* 1RM), muscle power (*Squat Jump* and *Counter Movement Jump*) of the lower limbs, thigh circumference and thigh crease were measured.

Results: The comparison of means of previous anthropometric characteristics showed no differences between the groups. On average, power and relative power increased significantly in both groups (P-value <0.05). Compared to the EC group, the mean of the ERF group was significantly higher in the indicators of the jump test without counter movement (P-value <0.05). Strength and thigh circumference only increased significantly in the ERF group.

Conclusion: The plyometric training program with flow restriction showed greater adaptations in power, strength, and muscle growth than the conventional plyometric training.

Key words:

Plyometric exercise. Strength training.
Blood flow restriction training.
Physical training. Sports medicine.

Correspondencia: Roberto Rebolledo-Cobos
E-mail: rrebolledo@unimetro.edu.co

Introducción

La evidencia científica actual ha mostrado que el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo estimula la ganancia de fuerza, hipertrofia y activación muscular, incluso, ha sido efectivo empleándose a baja carga de entrenamiento¹. En poblaciones sanas, los ejercicios resistidos con velocidad controlada y restricción del flujo sanguíneo aumentan rápidamente el aumento de la masa y la fuerza muscular^{1,2}. Se considera que estos fenómenos están relacionados con el aumento de las concentraciones de metabolitos, el incremento en la liberación de hormona de crecimiento, la potenciación de la activación de la señalización celular mTOR, la ampliación del reclutamiento neuromuscular y la reducción de la expresión de ARNm de miostatina³. No obstante, no está claro aún si las modalidades de entrenamiento con restricción de flujo pueden tener influencia en otro indicador de la integridad y funcionamiento muscular, la potencia.

La potencia muscular es el resultado de la relación entre fuerza y velocidad de ejecución de movimientos, con gran importancia para la salud, capacidad funcional⁴ y el rendimiento atlético⁵. En este contexto, el entrenamiento pliométrico ha sido ampliamente empleado como la estrategia más versátil y práctica para desarrollar esta cualidad del sistema locomotor⁶. Además de estar inherentemente relacionada con las ganancias de fuerza, la potencia muscular influencia adaptaciones en los elementos elásticos del sistema musculoesquelético, como los tendones, fascia, tejido conectivo y la relación subsiguiente con el ciclo alargamiento/acortamiento (EAC). La insuficiente evidencia que relacione el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo combinado con modalidades específicas de entrenamiento pliométrico ha dificultado las adaptaciones en la potencia muscular⁷.

Los datos de la literatura muestran que los ejercicios realizados con una carga alta y una velocidad baja se recomiendan para la hipertrofia muscular, mientras que los ejercicios con una carga baja y una velocidad alta están indicados para aumentar la potencia muscular^{8,9}. Algunos autores han cuestionado dichas recomendaciones debido a los resultados ambiguos en relación con los incrementos del rendimiento tras protocolos de fuerza y potencia a corto plazo, encontrando resultados similares en ambos protocolos. Además, algunos estudios han descrito aumentos en el ritmo de desarrollo de la fuerza y mejoras en la altura de salto tras ambos regímenes de entrenamiento^{10,11}.

Estudios anteriores apoyan esta tesis de una mayor hipertrofia muscular tras el entrenamiento de fuerza, sin embargo, en trabajos de potencia, se encuentran aumentos en la frecuencia de disparo de las unidades motoras y mejora de la EAC, principalmente cuando utilizan la especificidad del gesto, como en el salto^{12,13}. En este sentido, parece que ambos factores son importantes para el aumento de la potencia muscular.

Teniendo en cuenta que la restricción de flujo sanguíneo puede propiciar adaptaciones funcionales y morfológicas incluso con baja carga de entrenamiento, y contextualizando el entrenamiento pliométrico como estrategia efectiva para el desarrollo de la potencia muscular, el objetivo principal del presente estudio es comprobar el efecto de dos modelos de entrenamiento pliométrico con o sin restricción del flujo sanguíneo en la ganancia de potencia muscular medida a través de saltos verticales de individuos varones, sanos y no entrenados.

Material y método

Se plantea un estudio cuasiexperimental debido a que la organización de los grupos no fue aleatoria, el cual se contempla analizar en dos grupos de hombres adultos jóvenes sanos, las adaptaciones y respuestas funcionales que promueven una modalidad de ejercicio pliométrico prescritas en 8 sesiones distribuidas en cuatro semanas, con la diferenciación que un grupo ejecutará las sesiones con un manguito de restricción parcial de flujo sanguíneo hacia las extremidades inferiores.

Sujetos

A través de divulgación e invitación pública por redes sociales, 23 hombres jóvenes se presentaron como voluntarios al laboratorio de musculación de la *Universidade Regional Integrada do Alto Uruguay y das Missões* (Brasil) lugar donde se desarrollaron los procedimientos del presente estudio. 5 fueron excluidos por manifestar síntomas dolorosos y trastornos musculoesqueléticos en extremidades inferiores. 18 sujetos restantes cumplieron los criterios de inclusión, en los cuales se incluía tener un nivel de actividad física bajo, no haber participado en programas de ejercicio durante al menos 3 meses y no tener enfermedades sistémicas de consideración.

Procedimientos

Inicialmente, los participantes realizaron una evaluación antropométrica, una prueba de una repetición máxima (1RM) para evaluar la fuerza dinámica máxima y dos pruebas de salto vertical sobre una colchoneta de contacto para evaluar la altura de salto. Poco después se dividieron en dos grupos: grupo de entrenamiento pliométrico con restricción de flujo sanguíneo (ERF n = 9) y grupo entrenamiento pliométrico convencional (EC n = 9). Tras el sorteo, los participantes comenzaron el protocolo de entrenamiento con dos sesiones por semana durante 4 semanas. Tras la ejecución de los protocolos de entrenamiento, los participantes volvieron al laboratorio para repetir las pruebas. Todas las pruebas fueron realizadas por el mismo evaluador quien desconocía la finalidad y distribución de los grupos de los sujetos, además de utilizar los mismos procedimientos antes del entrenamiento y después de 4 semanas de entrenamiento.

Evaluación antropométrica: la antropometría se realizó utilizando un plicómetro (Mitutoyo 0,1 mm de precisión - Cescorf), balanza con estadiómetro acoplado (Welmy, 200 kg de capacidad, 0,1 kg y 0,005 m de precisión) y perímetros utilizando una cinta métrica (Cescorf- Porto Alegre Brasil). Las marcas y técnicas de evaluación siguieron las normas de *The international Society for the Advancement of Kinanthropometry* (ISAK). Se verificaron las medidas de masa corporal (kg), altura (cm), el pliegue cutáneo anterior del muslo (mm) y circunferencia media del muslo (cm).

Pruebas de potencia: los participantes se familiarizaron con el movimiento requerido realizando un calentamiento previo de 8 saltos verticales de altura variable, con un intervalo de descanso de dos minutos previo al inicio de las pruebas. Inicialmente el protocolo consistió en realizar el *Counter Movement Jump* (CMJ), un salto sin ayuda de las extremidades superiores, manteniendo las manos en la cintura y el tronco erguido, ejecutando tres saltos máximos verticales con un

intervalo entre intentos de 10 segundos, siempre respetando la orden verbal. Luego de 2 minutos de recuperación y con el mismo número de intentos, los participantes realizaron el *Squat Jump* (SJ) el cual consistió en la realización de un salto vertical máximo partiendo de la posición de flexión de piernas de 90°, sin ningún tipo de contra movimiento en las extremidades inferiores y sin ayuda de los miembros superiores, manteniendo las manos en la cintura desde la posición inicial hasta la finalización de salto¹⁴. Los saltos se realizaron sobre tapete de contacto (Jump System 1.0®, CEFISE, SP/Brasil).

Prueba 1RM: la prueba de prensa de piernas (*leg press*) 1RM se realizó en un equipo de prensa de piernas con carga variable (Taurus, Brasil), de forma bilateral. Antes de la prueba, los participantes realizaron un calentamiento general de cinco minutos de duración a 5 km/h en una bicicleta ergométrica. Tras el calentamiento general, los participantes se colocaron en el equipo de prensa de piernas (Taurus, Brasil). A continuación, cada participante realizó un calentamiento específico consistente en dos series de ocho repeticiones con cargas con una estimación de esfuerzo moderado percibido por el participante. Durante el calentamiento los participantes debían extender completamente las rodillas y la repetición sólo se evaluaba cuando los participantes eran capaces de alcanzar el delimitador de amplitud colocándose delante del equipo. Tras el calentamiento específico, los participantes tuvieron un descanso de 3 minutos antes de comenzar la prueba máxima.

La prueba máxima consistió en obtener la mayor cantidad de carga que se puede levantar en un ciclo completo (flexión y extensión de las rodillas). Cuando el participante era capaz de realizar más de una repetición, se reajustaba el valor de la carga basándose en coeficientes de corrección Lombard¹⁵. Entre cada intento, los participantes disponían de 5 minutos de intervalo. Si eran necesarios más de cuatro intentos para determinar el valor de 1-RM, la prueba se interrumpía y se realizaba a las 48 horas. Antes de la prueba máxima cada participante se familiarizó con la prueba. La velocidad de ejecución de cada repetición se controló utilizando un metrónomo.

Protocolo de entrenamiento

Las sesiones de ejercicios fueron, en estructura y contenido, idénticas para ambos grupos. Inicialmente los participantes realizaban un calentamiento de 5 minutos en una cinta ergométrica, a continuación, ejecutaban una fase principal basada en ejercicios pliométricos con 30 segundos de descanso entre series y 2 minutos entre ejercicios. Al final, los sujetos realizaban 5 minutos adicionales actividades de baja intensidad que incluían caminar y ejercicios de respiración para la vuelta a la calma. Se planteó una progresión semanal basada en un aumento de la dificultad y el volumen de ejercicios pliométricos en la fase principal. En la Tabla 1 se exponen la estructura de las sesiones y la estrategia de progresión. La duración aproximada de las sesiones en las semanas 1 y 2 fue de 30 minutos, mientras en las sesiones de las semanas 3 y 4 fue de 35 minutos. Para los ejercicios que lo requerían, la altura de la caja de salto fue de 45 cm.

Protocolo de restricción vascular

Para determinar la oclusión o restricción parcial vascular en las extremidades inferiores, los participantes del grupo ERF antes de cada

Tabla 1. Estructura general de la fase principal de las sesiones del programa de ejercicios para los grupos estudiados en las 4 semanas de entrenamiento.

Semana/Sesiones (intensidad)	Ejercicio	Series	Repeticiones
Semana 1 / Sesiones 1-2 (Baja)	<i>Squat jump</i> <i>Split squat jump</i> <i>Cycled split squat jump</i>	2	10
Semana 2 / Sesiones 3-4 (Baja para moderada)	<i>Split squat jump</i> <i>Pike jump</i> <i>Double leg tuck jump</i>	2	10
Semana 3 / Sesiones 5-6 (Moderada)	<i>Pike jump</i> <i>Double leg tuck jump</i> <i>Double leg zigzag hop</i> <i>Double leg hop</i>	3	10
Semana 4 / Sesiones 7-8 (Alta)	<i>Double leg zigzag hop</i> <i>Double leg hop</i> <i>In-depth jump (45 cm)</i> <i>Box jump (45 cm)</i>	3	10

sesión se colocaban en posición decúbito supino y permanecieron en reposo absoluto durante 20 minutos. De forma seguida, se medía la presión arterial en reposo, que posteriormente se utilizaba en el cálculo de la fijación del manguito para la oclusión parcial de las extremidades (Scientific Pro -WCS 2020) y se empleaba para el cálculo de la fijación del manguito de la oclusión. La presión utilizada fue de 20 mmHg por encima de la presión arterial sistólica en reposo, garantizando así que la oclusión de las extremidades fuera parcial, impidiendo especialmente el retorno venoso. Los ejercicios se realizaron con los miembros inferiores ocluidos, incluso durante los intervalos de recuperación. La metodología empleada incluyó una inspección constante de las extremidades y la monitorización del confort de los sujetos¹⁶.

Estadísticas

Los datos se presentaron como promedio con su respectiva desviación estándar. Para verificar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Shapiro Wilk. Para las comparaciones de las variables de los momentos pre y posentrenamiento se utilizó una prueba t de Student pareada. Para la comparación de estas variables entre grupos, se utilizó la prueba t de Student independiente. El programa informático utilizado fue IBM SPSS 20.0.

Consideraciones éticas

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Centro Universitario Metodista IPA, bajo el número de dictamen: 1.475.648 y siguió todas las recomendaciones de la resolución 466/12 del Consejo Nacional de Salud de Brasil. Además, se tuvo en cuenta la declaración de Helsinki donde se reglamentan los principios éticos para estudios de investigación que involucran seres humanos con previo consentimiento informado.

Resultados

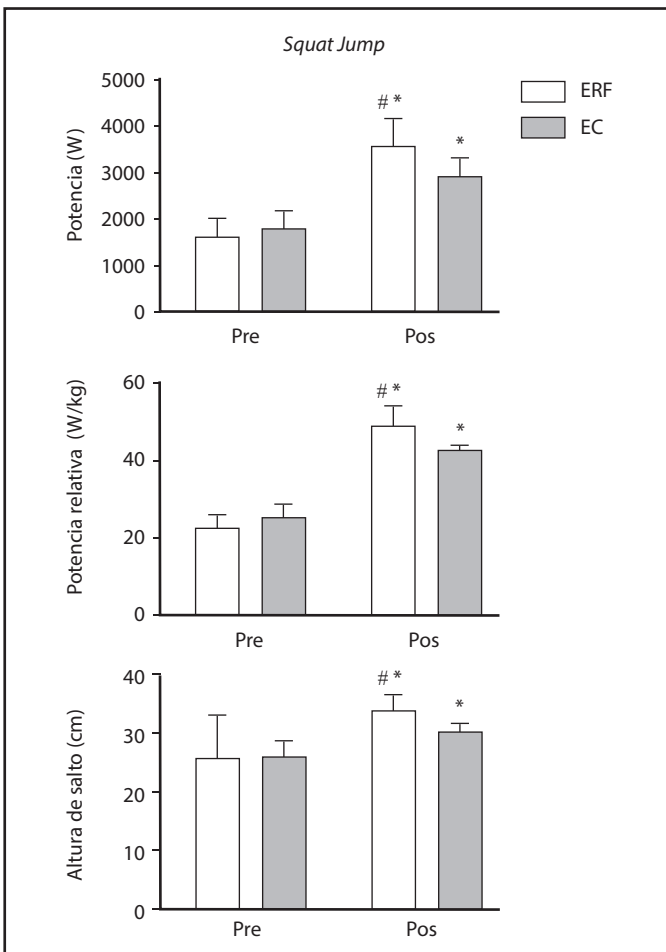
Los datos de todas las variables se presentan como promedio y desviaciones estándar. La caracterización inicial de la población estudiada mostró que el promedio de edad del total de sujetos fue de $22,22 \pm 4,58$ años y de $23,92 \pm 3,40$ el IMC. La distribución aleatoria de los sujetos en dos grupos de estudio no mostró diferencias en ninguna de las características expuestas en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de promedios de las características generales de la población de acuerdo con los grupos conformados y estudiados.

Característica	ERF	EC	P-valor
Edad (años)	$22,77 \pm 5,11$	$21,66 \pm 4,21$	0,621
Peso (kg)	$72,77 \pm 10,52$	$74,00 \pm 13,20$	0,830
Talla (m)	$1,72 \pm 0,06$	$1,77 \pm 0,07$	0,165
IMC (kg/m ²)	$24,34 \pm 2,99$	$23,511 \pm 3,90$	0,620

IMC: índice de masa corporal.

Figura 1. Comparación pre y posentrenamiento de valores promedios de potencia, potencia relativa y altura de salto de acuerdo con los resultados de la prueba SJ en los grupos estudiados.

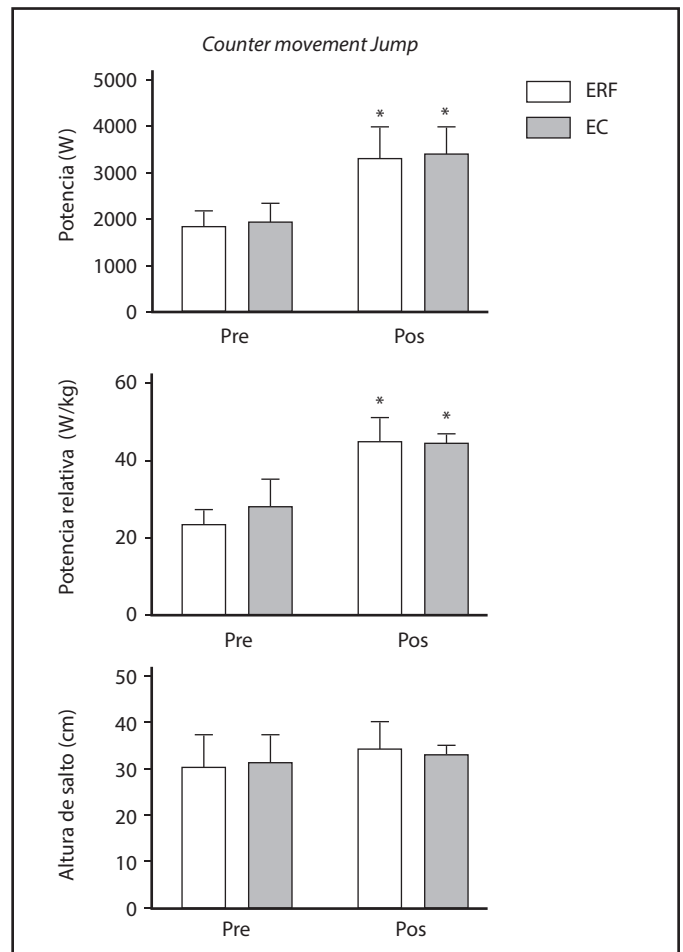


*P-valor <0,05 entre pre y posentrenamiento. #P-valor <0,05 entre grupos.

De acuerdo con los resultados de la prueba de salto SJ que se expone en la Figura 1, se encontraron diferencias significativas en los valores promediados de la potencia pre y posentrenamiento tanto en el grupo ERF ($1.610,7 \pm 407,3$ vs $3.590 \pm 553,1$ W, $\Delta 138,55\%$; $p < 0,001$) como en el EC ($1.803,6 \pm 371,2$ vs $2.942,2 \pm 3351$ W, $\Delta 68,51\%$; $p < 0,001$). Así mismo, para ambos grupos, los valores promedios antes y después del programa de entrenamiento de la potencia relativa (ERF: $22,6 \pm 2,9$ vs $48,7 \pm 4,9$ W/kg, $\Delta 118,67\%$; EC: $24,6 \pm 3,7$ vs $42,7 \pm 1,2$ W/kg $\Delta 76,86\%$) y altura de salto (ERF: $26,1 \pm 6,9$ vs $34,3 \pm 2,3$ cm, $\Delta 41,49\%$; EC: $26,2 \pm 2,5$ vs $30,5 \pm 1,3$ cm, $\Delta 17,20\%$) fueron estadísticamente diferentes (p -valor <0,01). Respecto a la comparación entre grupos, se encontró una diferencia estadística (p -valor <0,01) después del programa de entrenamiento a favor del grupo ERF, siendo mayor el promedio en potencia, potencia relativa y altura de salto.

Como lo expone la Figura 2, se encontraron diferencias significativas (p -valor <0,001) en los resultados de la prueba CMJ entre los momentos pre y posentrenamiento de ambos grupos, tanto en la potencia (ERF: $1.830,6 \pm 391,6$ vs $3.355,6 \pm 672,2$ W, $\Delta 86,47\%$; EC: 1.973 ± 347 vs

Figura 2. Comparación pre y posentrenamiento de valores promedios de potencia, potencia relativa y altura de salto de acuerdo con los resultados de la prueba CMJ en los grupos estudiados.



*P-valor <0,05 entre pre y posentrenamiento. #P-valor <0,05 entre grupos.

Tabla 3. Comparación de promedios intra y entre grupos en las medidas antropométricas y de fuerza en las extremidades inferiores antes y después del programa de entrenamiento.

Medida	Pre	Pos	$\Delta\%$	P-valor intragrupo	P-valor entre grupos	
					Pre	Pos
Leg press 1-RM (kg)						
ERF	259,66 \pm 86,38	381,33 \pm 62,02	54,72	0,003	0,887	0,007
EC	254,11 \pm 76,63	300,33 \pm 50,46	26,40	0,150		
Perímetro muslo (cm)						
ERF	52,77 \pm 4,60	57,88 \pm 4,13	9,83	0,024	0,465	0,009
EC	51,00 \pm 5,45	51,22 \pm 5,35	0,46	0,931		
Pliegue muslo (mm)						
ERF	9,69 \pm 1,40	7,55 \pm 1,42	-22,22	0,005	0,112	0,005
EC	11,88 \pm 3,65	11,44 \pm 3,39	-3,37	0,792		

RM: repetición máxima.

3.414,4 \pm 651,2 W, Δ 75,00%) como potencia relativa (ERF: 24,8 \pm 2,5 vs 45,9 \pm 4,2 W/kg, Δ 86,21%; EC: 28,8 \pm 6,9 vs 45,1 \pm 1,2 W/kg). Aunque hubo un aumento, la altura de salto no mostró diferencias estadísticas en las variaciones promediadas antes y después del programa de entrenamiento en los grupos (ERF: 31,02 \pm 6,7 vs 34,90 \pm 5,1 cm, Δ 14,80%; EC: 31,74 \pm 6,1 vs 33,70 \pm 1,56, Δ 9,80%). No se encontraron diferencias en la comparación entre grupos.

En la Tabla 3 se exponen los resultados de la valoración de la fuerza y las características antropométricas específicas consideradas en el estudio. La prueba de 1-RM en *Leg Press* mostró diferencias significativas entre los momentos pre y posentrenamiento en el ERF, también diferencias con el grupo EC en los resultados finales (p-valor <0,01). Finalmente, solo el grupo ERF mostró variaciones estadísticamente significativas en la circunferencia y plicometría de muslo, existiendo diferencia con los resultados del grupo EC en la medida de los registros posentrenamiento (p-valor <0,01).

Discusión

Los resultados del presente estudio muestran que, en comparación con los sujetos que siguieron un programa de entrenamiento pliométrico convencional de baja carga, los individuos previamente no entrenados que ejecutaron las sesiones de ejercicio con restricción parcial de flujo sanguíneo mostraron mayores adaptaciones en la potencia, fuerza y masa muscular. Si bien previamente la evidencia científica ha respaldado los efectos benéficos del entrenamiento resistido con restricción del flujo sanguíneo con el aumento de los picos de fuerza y masa muscular en bajas cargas^{1,3,8,10}, la evidencia que respalda las adaptaciones en la potencia y a su vez, en indicadores funcionales como la altura del salto, es limitada.

Hallazgos previos con enfoques metodológicos similares habían mostrado, de forma general, resultados contradictorios al del presente estudio. En esa línea, Horiuchi *et al.*, informaron en su estudio que cuatro semanas de entrenamiento con saltos tradicionales mejoraban en mayor

medida, el rendimiento del salto y la potencia muscular en comparación con individuos que entrenaron con restricción de flujo¹⁷. Sin embargo, si bien analizaron las respuestas en sujetos no entrenados, se destaca que a nivel metodológico incluyeron altas presiones de oclusión para la ejecución de los ejercicios (200 mmHg), induciendo una restricción de flujo total. Actualmente, los altos niveles de oclusión vascular al entrenamiento de la fuerza no suelen relacionarse con ventajas adaptativas y, por consiguiente, una limitada ganancia de potencia y altura del salto¹⁸.

Por medio de la prueba SJ, el presente estudio mostró que además de la mayor ganancia de potencia relativa, la altura del salto mejoró en mayor proporción en el grupo ERF. Este hallazgo es interesante pues, aunque mejoraron todos los indicadores de la prueba con ciclo de estiramiento-acortamiento, CMJ, no mostró diferencia alguna con los resultados del grupo sin restricción de flujo, incluyendo la altura del salto. Reportes previos habían mostrado que los ejercicios con restricción de flujo pueden llevar a mejoras significativas en las propiedades funcionales y elásticas del sistema musculoesquelético, optimizando el ciclo de estiramiento-acortamiento que, a su vez, se traducían en mayores respuestas agudas en la potencia y altura de salto vertical con contra movimiento¹⁹.

En individuos con entrenamiento previo la evidencia respalda a las modalidades con restricción de flujo con adaptaciones importantes en la potencia muscular. Recientemente, Sun *et al.*, mostraron que, en 4 semanas, un programa de ejercicios a baja carga y basados en sentadillas con niveles variables de restricción vascular, mejoraba el rendimiento del salto vertical en jugadoras de fútbol femenino²⁰. En la misma línea, Yang *et al.*, habían expuesto la efectividad del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo a baja carga en gimnastas. El programa de ejercicios que propusieron en diez semanas se basó en ejercicios resistidos de baja intensidad con restricción de flujo comparándose con entrenamiento resistido convencional de alta intensidad sin restricción de flujo, mostrando al final adaptaciones similares en la fuerza, potencia y altura de salto en ambos grupos²¹. Estos trabajos, a pesar de que no ejecutaron específicamente protocolos de entrenamiento pliométrico

o basados en saltos, mostraron efectos potencialmente seguros en la potencia muscular derivados de la propia plasticidad neuromuscular y morfológica.

La mejora en la fuerza del grupo ERF que se muestra en el actual reporte no es un hallazgo nuevo, sin embargo, cabe destacar que el programa de entrenamiento pliométrico implementado con oclusión vascular fue, en proporción, más efectivo que la modalidad convencional. La relación entre la fuerza, potencia muscular y rendimiento del salto es estrecha. Estudios previos han reportado que un mejor rendimiento del salto es proporcional con las capacidades contráctiles del tejido muscular y la tasa de desarrollo de fuerza en las extremidades inferiores²². De forma paralela, las adaptaciones morfológicas propician mejoras en las propiedades elásticas del tejido que benefician la ejecución del salto y así, mejoras en la potencia²³. Como son entonces los hallazgos del presente estudio, las condiciones fisiológicas que estimulan las modalidades con restricción de flujo sanguíneo actúan como catalizador para que, condicionado a una baja carga semanal de entrenamiento, exista un mayor potencial de adaptación morfológica, el cual resulta coherente con el desarrollo de la fuerza máxima.

La ganancia de fuerza medida por pruebas de 1RM en la prensa de piernas no es necesariamente un factor que asegure adaptaciones en la potencia y altura del salto^{24,25}, es por ello que los autores recomendamos que, como es bien conocido en las ciencias del deporte, la orientación específica del entrenamiento físico es necesario para mejorar los indicadores de rendimientos requeridos, como la altura del salto, la fuerza máxima o la masa muscular.

Finalmente, los autores consideramos el diseño metodológico sencillo del presente estudio como una fortaleza más allá de las barreras propias de los estudios cuasiexperimentales o preexperimentales, especialmente los relacionadas con el control de todos los factores que pudieron influenciar el potencial adaptativo de los sujetos a nivel fisiológico a través del limitado periodo de entrenamiento o que además, pudieron atentar directamente con la recolección de la información en la aplicación de las pruebas. El limitado número de sujetos involucrados en los grupos también se puede considerar una limitante, sin embargo, los autores planteamos la máxima rigurosidad metodológica posible en la ejecución de los distintos procedimientos, incluyendo la participación de personal con alto nivel académico y de experticia para potencializar la calidad de los datos obtenidos.

En conclusión, los resultados de la actual investigación sugieren que tanto el entrenamiento pliométrico de baja carga semanal con restricción del flujo sanguíneo como el entrenamiento convencional pueden ser efectivos para mejorar la potencia, capacidad de salto y la fuerza muscular en hombres sanos no entrenados, no obstante, el efecto en los sujetos con restricción de flujo sanguíneo fue estadísticamente mayor. Estos hallazgos son consistentes con la tendencia que aprovecha el uso de la restricción parcial de flujo para obtener grandes beneficios con cargas bajas de entrenamiento en periodos cortos de entrenamiento.

Apoyos: el presente trabajo contó con el apoyo del amparo de investigaciones del Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – Brasil. El programa de Bolsas de Productividad en Investigación (PQ/UEMG) – Brasil; y del Fondo para Investigaciones de la Universidad Metropolitana de Barranquilla, Colombia.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Bobes Álvarez C, Issa-Khozouz Santamaría P, Fernández-Matías R, Pecos-Martín D, Achalandabaso-Ochoa A, Fernández-Carnero, *et al.* Comparison of blood flow restriction training versus non-occlusive training in patients with anterior cruciate ligament reconstruction or knee osteoarthritis: a systematic review. *J Clin Med.* 2020;10:68.
- Beato M, Bianchi M, Coratella G, Merlini M, Drust B. Effects of plyometric and directional training on speed and jump performance in elite youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2018;32:289-96.
- Yamanaka T, Farley RS, Caputo JL. Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *J Strength Cond Res.* 2012;26:2523-9.
- Rebolledo-Cobos R, Silva-Correa C, Juliao-Castillo J, Polo-Gallardo R, Suarez-Landazabal O. Functional implications of strength training on older adults: a literature review. *Arch Med Deporte.* 2017;34:31-9.
- Morris SJ, Oliver JL, Pedley JS, Haff GG, Lloyd RS. Comparison of weightlifting, traditional resistance training and plyometrics on strength, power and speed: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 2022;52:1533-54.
- Layne AS, Larkin-Kaiser K, Gavin-MacNeil R, Sandesara B, Dirain M, Bufford WT, *et al.* Effects of blood-flow restriction on biomarkers of myogenesis in response to resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2017;42:89-92.
- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985). 2002;93:1318-26.
- Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, Newton UR, Galvão AD, Trajano GS, *et al.* Resistance training load effects on muscle hypertrophy and strength gain: systematic review and network meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53:1206-16.
- Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:674-88.
- Rodrigo-Mallorca D, Loaiza-Betancur AF, Monteagudo P, Blasco-Lafarga C, Chulvi-Medrano I. Resistance training with blood flow restriction compared to traditional resistance training on strength and muscle mass in non-active older adults: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:11441.
- Hosseini-Kakhak SA, Kianigul M, Haghighi AH, Nooghabi MJ, Scott BR. Performing soccer-specific training with blood flow restriction enhances physical capacities in youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2022;36:1972-7.
- Del-Vecchio A, Casolo A, Negro F, Scorcelletti M, Bazzucchi L, Enoka R, *et al.* The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *J Physiol.* 2019;597:1873-87.
- Van-Roie E, Walker S, Van-Driessche S, Delabastita T, Vanwanseele B, Delecluse C. An age-adapted plyometric exercise program improves dynamic strength, jump performance and functional capacity in older men either similarly or more than traditional resistance training. *PLoS One.* 2020;15:e0237921.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983;50:273-82.
- Verdijk L, van Loon L, Meijer K, Savelberg H. One-repetition maximum strength test represents a valid means to assess leg strength in vivo in humans. *J Sports Sci.* 2009;27:59-68.
- Goldfarb AH, Garten RS, Chee PD, Reeves VG, Hollander BD, *et al.* Effects of endurance exercise on blood glutathione and plasma protein carbonyl status: influence of partial vascular occlusion. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104:813-9.
- Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott SB, Owens J, *et al.* Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol.* 2019;10:533.
- Doma K, Leicht AS, Boulosa D, Woods CT. Lunge exercises with blood-flow restriction induces post-activation potentiation and improves vertical jump performance. *Eur J Appl Physiol.* 2020;120:687-95.
- Horiuchi M, Endo J, Sato T, Okita K. Jump training with blood flow restriction has no effect on jump performance. *Biol Sport.* 2018;35:343-8.
- Sun D, Yang T. Semi-squat exercises with varying levels of arterial occlusion pressure during blood flow restriction training induce a post-activation performance enhancement and improve vertical height jump in female football players. *J Sports Sci Med.* 2023;22:212-25.
- Yang S, Zhang P, Sevilla-Sanchez M, Zhou D, Cao J, He J, Gao B, *et al.* Low-load blood flow restriction squat as conditioning activity within a contrast training sequence in high-level preadolescent trampoline gymnasts. *Front Physiol.* 2022;13:852693.

22. Bruhn S, Kullmann N, Gollhofer A. The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *Int J Sports Med.* 2004;25:56-60.
23. Maffuletti NA, Cometti G, Amiridis IG, Martin A, Pousson M, Chatard JC. The effects of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int J Sports Med.* 2000;21:437-43.
24. Fatouros I, Jamurtas A, Leontsini D, Taxildaris K, Aggelousis N, Kostopoulos N. Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J Strength Cond Res.* 2000;14:470-6.
25. Ferri A, Scaglioni G, Pousson M, Capodaglio P, Van-Hoecke J, Narici MV. Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age. *Acta Physiol Scand.* 2003;177:69-78.