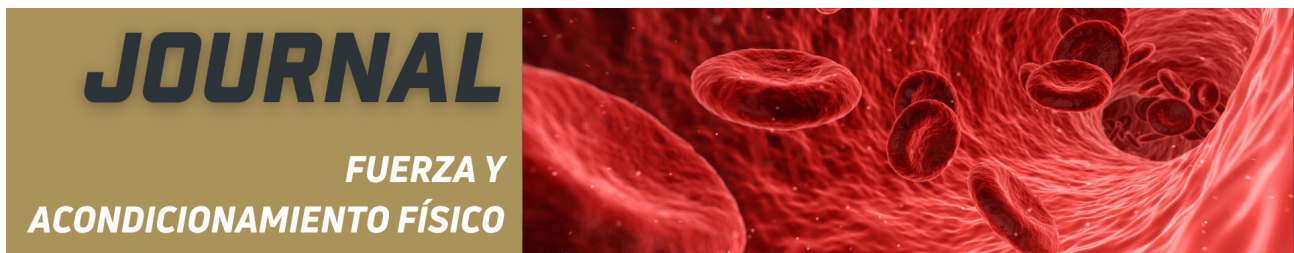


¿PUEDE LA RESTRICCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO UTILIZADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO AERÓBICO MEJORAR LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN ATLETAS FÍSICOS?



Rolnick, Nicholas DPT, MS, CSCS¹; Schoenfeld, Brad J. PhD, CSCS, CSPS, FNSCA²

¹The Human Performance Mechanic, PHLEX NYC, New York, New York; and

²Health Sciences Department, CUNY Lehman College, Bronx, New York

Artículo original: Can Blood Flow Restriction Used During Aerobic Training Enhance Body Composition in Physique Athletes? Strength and Conditioning Journal, 2020, 42(5): 37-47

Resumen

La evidencia emergente indica que el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR – Blood Flow Restriction) de baja intensidad es una estrategia eficaz para aumentar las adaptaciones musculares cuando se realiza durante el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, sigue siendo cuestionable si la combinación de BFR con el entrenamiento aeróbico tradicional puede preservar o quizás incluso potenciar las adaptaciones hipertróficas. El propósito de este artículo es proporcionar una revisión de la investigación actual sobre el tema y sacar conclusiones prácticas sobre cómo el BFR puede ser aplicado por los atletas físicos para optimizar el aumento de la masa muscular.

Introducción

La restricción del flujo sanguíneo (BFR) se ha convertido en un complemento popular al entrenamiento de fuerza de alta intensidad (EF) y al entrenamiento aeróbico (EA) en

atletas físicos debido a su capacidad única para producir ganancias comparables en tamaño muscular, fuerza y capacidad aeróbica a pesar de la menor intensidad relativa con la que se realizan los ejercicios (33,38,51). El BFR implica el uso de un manguito compresivo (elástico o neumático) que se aplica a la porción proximal de las extremidades para reducir parcialmente el flujo arterial y ocluir completamente el retorno venoso (53). La aplicación de BFR altera el entorno metabólico local debido a la restricción del flujo arterial, aumentando las demandas de contracción de los músculos distales al manguito. Los investigadores han teorizado que estas respuestas se deben a reducciones en el suministro de oxígeno, lo que produce un fallo voluntario más temprano en los programas de EF y ER en comparación con el ejercicio sin restricción del flujo (19,20,74). Las prescripciones de ejercicios de EF con BFR suelen oscilar entre el 20% y el 40% de 1 repetición máxima (RM), lo que proporciona un enfoque alternativo para las personas que buscan maximizar la hipertrofia muscular en sus programas de entrenamiento a partir de las 6-12 repeticiones recomendadas tradicionalmente al 65-85% de la 1RM (59). Aunque los beneficios del EF con BFR se han discutido extensamente en otras publicaciones (25,39), no se ha prestado mucha atención al potencial del ER con BFR para mejorar la hipertrofia u otros resultados beneficiosos (es decir, la capacidad aeróbica o el gasto calórico) en individuos que buscan maximizar las adaptaciones musculares en un programa de entrenamiento concurrente.

El ER es comúnmente utilizado por los atletas físicos para aumentar el gasto energético diario de cara a maximizar la pérdida de grasa, particularmente durante la preparación de la competición. Las recomendaciones físicas típicas de los atletas para el ER varían en intensidad, duración y frecuencia (28), y dependen de si el individuo está o no en periodo preparatorio competitivo. Helms et al. (28) recomendaron que tanto el ER de baja como de alta intensidad se realicen dentro de un programa de entrenamiento concurrente para maximizar la pérdida de grasa; pero advirtieron que el uso regular de ER de alta intensidad, especialmente durante preparación de competiciones, puede producir interferencias e impedir la recuperación entre sesiones de EF. Esto hace que el ER de baja intensidad sea una opción más factible para el atleta físico. Sin embargo, altos volúmenes de ER de baja intensidad pueden afectar negativamente las adaptaciones hipertróficas a pesar de la pérdida adicional de grasa corporal, especialmente si se utilizan duraciones superiores a los 30 min (75). El uso de otros enfoques alternativos para aumentar el gasto calórico, preservar la masa muscular y minimizar los tiempos de recuperación entre sesiones de EF pueden ser argumentos para incorporar también sesiones de ER.

El ER con BFR se prescribe comúnmente a intensidades aeróbicas tan bajas como el 30% de la frecuencia cardíaca de reserva (FCR) (53). Se ha demostrado que el ER de baja intensidad con BFR aumenta el gasto energético diario, mejora la capacidad aeróbica máxima, desplaza la utilización del sustrato hacia la oxidación de ácidos grasos e incluso mejora la masa muscular en comparación con las condiciones de flujo libre combinadas (2,18,55,66), lo que lo convierte en un enfoque potencialmente atractivo para aumentar los beneficios del ER durante la preparación de una competición. Este artículo proporciona una revisión basada en la evidencia de la investigación actual sobre los beneficios hipertróficos del ER con BFR y extrae conclusiones prácticas sobre cómo se puede utilizar la estrategia por atletas físicos para optimizar sus resultados.

Mecanismos de entrenamiento para la restricción del flujo sanguíneo: resumen (enfocado en la hipertrofia)

La hipertrofia muscular producida por el entrenamiento crónico con BFR parece estar mediada por procesos algo similares a los del ejercicio sin restricción del flujo. En resumen, para que se produzca la hipertrofia muscular, el balance neto de proteínas debe permanecer positivo durante períodos más prolongados que cuando es negativo (17). Aunque la hipertrofia muscular después del EF con BFR parece estar mediada principalmente por el mecanismo del complejo de la rapamicina 1 (mTORC1), molécula esencial en los procesos anabólicos, el incremento de la síntesis proteica inducido por el ER con BFR parece ser de menor magnitud (26,48). Las bajas intensidades del ER con BFR y la falta de una resistencia mecánica externa significativa parece ser la razón por la que el potencial hipertrófico del EF con BFR sea menor respecto al entrenamiento sin restricción (63).

Entrenamiento aeróbico: mecanismos subyacentes a la hipertrofia

Esta sección proporciona una descripción general breve de los mecanismos propuestos subyacentes a la hipertrofia observada con ER combinada con BFR. Se remite al lector a nuestro artículo complementario que proporciona una amplia descripción de los mecanismos que se cree que median las ganancias en el tamaño muscular después del EF con BFR (57). Estos mecanismos son relevantes cuando se discuten las similitudes y diferencias entre los modos de ejercicio BFR con respecto a la hipertrofia muscular.

Aunque el EF con BFR ha demostrado aumentar la hipertrofia a una magnitud similar en adultos (9) y jóvenes (60), entrenados (8,15) y no entrenados (68), el ER con BFR muestra resultados hipertróficos menos sólidos (2,3,63). Por ejemplo, Kim et al. (33) no informaron aumentos significativos en la hipertrofia del muslo después de un programa de ciclismo con BFR de 6 semanas al 30% de la FCR. Otros estudios que informaron sobre hipertrofia con protocolos ER con BFR utilizaron intensidades de ejercicio más altas, como 40% $\dot{V}O_2$ máx (3), 40% $\dot{V}O_2$ de reserva (14) o 45% FCR (47). Parece que hay un umbral de intensidad mínimo (\approx 30% FCR) para el ER con BFR por debajo del cual las ganancias hipertróficas se reducen, posiblemente como resultado de un estrés metabólico y músculo-esquelético insuficiente (33).

De manera similar al EF con BFR, el ER con BFR se puede realizar a bajas intensidades (30-50% FCR o $\dot{V}O_2$ máx) (53). Numerosos estudios han informado aumentos significativos en la hipertrofia muscular después de protocolos de caminata o ciclismo de baja intensidad en una variedad de poblaciones (2,4,14,46,58), pero pocos han informado sobre la expresión de señalización de proteínas tras un ejercicio de ER con BFR. Un estudio informó de que caminar con BFR al 55% $\dot{V}O_2$ máx aumenta la fosforilación del p38 (proteína activada por la vía de señalización mitógeno quinasa) sin aumentos en los niveles de fosforilación mTORC1 o S6K1 en comparación con el ejercicio de flujo libre en la misma carga de trabajo (48). Por el contrario, otro estudio no encontró cambios en la expresión del p38 después del ejercicio, pero mostró un aumento en la expresión del mTORC1 y una regulación a la baja de miostatina después de un ER con BFR consistente en caminata interválica (31). Es de destacar que la miostatina es un regulador negativo de la vía mTORC1 y se ha teorizado que su disminución conduce a mayores ganancias a largo plazo en la acumulación de masa muscular a partir de EF tanto con BFR como sin él (35). En comparación con el EF con BFR, el grado de señalización anabólica después del ejercicio de ER con BFR es significativamente menor (22,23), aunque todavía muy por encima de los niveles previos al ejercicio. Estas observaciones apoyan la noción de que el ER con BFR de baja intensidad provoca una respuesta

anabólica menor en comparación al EF con BFR de baja carga.

A intensidades de ejercicio más bajas, caminar y andar en bicicleta con BFR no parecen aumentar constantemente el estrés metabólico (13,32,40,50,65,73), ni aumentar la fatiga muscular post-ejercicio (32,45). Sin embargo, cuando se compara con el mismo modo de ejercicio realizado sin oclusión, el ER con BFR aumenta de manera aguda el grosor del cuádriceps femoral y del tríceps sural sobre las condiciones de flujo libre (45). Por lo tanto, es posible que la respuesta de hinchazón celular aguda pueda ser una característica común que une EF con BFR y ER con BFR, lo que posiblemente ayudaría a explicar la magnitud disminuida de la activación de la vía de señalización de proteínas en relación con la del EF, porque la hinchazón celular en sí misma no es un potente estimulador de la hipertrofia muscular (34,69). De hecho, investigaciones recientes han demostrado que la hinchazón celular puede aumentar la capacidad de producir fuerza de los músculos contraídos al aumentar la producción de fuerza tanto activa como pasiva en longitudes musculares más largas a través de una mayor transmisión de fuerza a la matriz extracelular local, lo que en teoría mejora la tensión mecánica experimentada por la contracción (64). Mecánicamente, esto puede proporcionar cierto apoyo en cuanto a los aumentos inconsistentes observados en la hipertrofia muscular y la señalización de proteínas observados después de una variedad de diferentes protocolos ER con BFR. Es decir, los protocolos que utilizan duraciones más largas, frecuencias más altas de entrenamiento y/o intensidades mayores pueden permitir un mayor grado de inflamación celular y, por lo tanto, un estímulo hipertrófico más potente en los músculos entrenados.

Es interesante notar las respuestas similares en la hipertrofia muscular después de ER con BFR cuando se comparan protocolos de diferentes modos, frecuencias e intensidades de entrenamiento. Por ejemplo, Abe et al. (3) provocó un aumento del 4,6% en el área de la sección transversal del cuádriceps (CSA) (evaluado mediante imágenes de Resonancia Magnética Nuclear [RMN]) y un aumento del 6,4% en la capacidad aeróbica máxima utilizando un protocolo de ciclismo de 15 minutos 3 veces por semana a 59% FCR durante 8 semanas (18 minutos de tiempo total bajo oclusión). Los resultados de Abe (2010) sugieren que se pueden realizar episodios de ER con BFR de mayor intensidad y duración más corta en lugar de episodios de menor intensidad y duración más larga para aumentar la hipertrofia muscular y aumentar la capacidad aeróbica en adultos jóvenes y sanos. Es importante destacar que la intensidad del ejercicio realizado cae dentro de las recomendaciones del American College of Sports Medicine para mejorar la capacidad aeróbica máxima y no se considera de baja intensidad (54). Sin embargo, un protocolo de caminata ER con BFR de intervalo corto de alta frecuencia (velocidad de 50 m/min, 5 series de 2 minutos; tiempo total bajo oclusión: 17 minutos) realizado dos veces al día durante 3 semanas también mejoró el CSA de los cuádriceps y los músculos isquiotibiales en 5,7 y 7,6% (evaluado mediante RMN), respectivamente, junto con aumentos en la fuerza de flexión de piernas y prensa de piernas 1RM (2). La intensidad relativa del grupo BFR se estimó en aproximadamente un 19,5% del VO₂máx. Mucho más bajo que las intensidades recomendadas del 50% del VO₂máx o del 60% de FCR necesarias para obtener el beneficio aeróbico o la intensidad del protocolo de ciclismo de Abe (54). Por lo tanto, parece que el aumento de la frecuencia de entrenamiento compensó la disminución de la intensidad relativa del ejercicio realizado para producir niveles similares de hipertrofia muscular posterior a la intervención (4,6 frente a 5,7%, respectivamente).

En comparación con las intervenciones de EF con BFR de duración similar, la hipertrofia

resultante es considerablemente menor en ER con BFR. Por ejemplo, Abe et al. (1) observaron que 16 adultos jóvenes, tras realizar 12 días de EF BFR de flexión de piernas y sentadillas dos veces al día al 20% de 1RM, mejoraron el CSA de cuádriceps un 7,7% (evaluado mediante RMN). Otro estudio a largo plazo de 8 semanas sobre EF con BFR utilizando 4 series de extensiones de piernas realizadas al 50% 1RM para la fatiga volitiva en atletas aumentó el CSA del cuádriceps en un 12,3% (evaluado mediante RMN) (70). La frecuencia de esta intervención fue dos veces por semana, enfatizando la hipótesis de que el EF con BFR puede no requerir una frecuencia tan alta (2 versus 3 d/semana) para producir resultados hipertróficos superiores como el ER con BFR, siempre que la carga externa (por encima del 20% 1RM) y el esfuerzo (trabajar cerca o lograr la fatiga voluntaria para múltiples series) sea suficiente (70).

En conclusión, la hipertrofia inducida por el ER con BFR puede ocurrir después de un entrenamiento a corto o largo plazo, pero es de menor magnitud que con EF con BFR y probablemente requiera más sesiones de entrenamiento en comparación con el EF para observar una acumulación significativa de masa muscular. Esta diferencia puede explicarse por una falta de acumulación significativa de metabolitos tras ER con BFR a pesar de los niveles más altos de hinchazón celular después del ejercicio en ER con BFR frente a ER solo. Es probable que exista un umbral mínimo (?30% FCR) en ER con BFR por debajo del cual se produce una hipertrofia insignificante. Como regla general, cuando se prescribe ejercicio ER con BFR con el objetivo de aumentar la hipertrofia, se deben usar intensidades superiores al 30% de la FCR para aumentar la respuesta anabólica a esta forma de ejercicio, especialmente en participantes entrenados con sobrecarga.

Investigación de restricción del flujo de sangre en deportistas, individuos bien entrenados y competidores físicos

Hasta la fecha, la investigación sobre el uso de BFR con atletas físicos es escasa (informe de un caso) (64). Además, el sujeto de este estudio no utilizó ER BFR de manera concurrente. Hasta donde alcanza el conocimiento de los autores del presente artículo, actualmente no hay estudios que investiguen el potencial hipertrófico de ER con BFR en atletas, individuos bien entrenados o atletas físicos. Una revisión sistemática de Bennett y Slattery (7) sugiere que el ER con BFR es un enfoque viable para aumentar la capacidad aeróbica en una variedad de poblaciones, incluidos los atletas, pero no informa ningún estudio que investigue sus resultados hipertróficos. Existe evidencia de que la BFR combinada con caminar estimula la señalización intracelular anabólica en mayor medida que la caminata no ocluida (48); sin embargo, los sujetos no participaron en un programa de ejercicio estructurado, lo que limita la extrapolación a individuos entrenados en fuerza. Del mismo modo, otros estudios que informan sobre la hipertrofia del ER con BFR se encuentran en adultos jóvenes (46,58) y ancianos sedentarios (50), lo que dificulta cualquier recomendación sobre la eficacia de ER con BFR en atletas físicos, especialmente cuando las revisiones previas han concluido que los adultos sin acondicionamiento tienden a experimentar mayor hipertrofia con ER tradicional que los jóvenes (49).

Esta sección discutirá brevemente los estudios que investigaron la hipertrofia muscular durante el ER con BFR en adultos no entrenados o físicamente activos que se compararon directamente con el ejercicio de mayor intensidad (y/o EF) y trazará paralelismos (cuando sea apropiado) con el atleta físico durante los periodos de fuera de temporada o competitivo. Comprender la magnitud de las adaptaciones relativas tanto al

ejercicio de mayor intensidad como al EF puede proporcionar información para ayudar a los atletas físicos a prescribir ejercicio cardiovascular BFR para su propia programación.

Hasta la fecha, solo 2 estudios han comparado los efectos anabólicos crónicos del ER BFR de baja intensidad con ER no ocluido de alta intensidad (14,33). Kim et al. (33) compararon los efectos de 6 semanas de ER en bicicleta de alta intensidad (HIT) 3 veces por semana (20 minutos al 60-70% FCR) versus ER con BFR en bicicleta de baja intensidad (20 minutos al 30% FCR con presión bilateral del manguito de 160-180 mm a los muslos) en el muslo CSA, fuerza, composición corporal y capacidad aeróbica máxima en varones físicamente activos en edad universitaria. A pesar de las diferencias en el volumen total de ejercicio, el grupo BFR aumentó la fuerza de los flexores de la rodilla y el CSA muscular (+ 2,2-2,7%) en grados similares al grupo HIT y produjo ganancias superiores en la masa magra de la pierna (33). A diferencia de otros estudios de ER con BFR, la capacidad aeróbica máxima no cambió después del entrenamiento en ninguno de los grupos, probablemente por cuestiones metodológicas (presiones arbitrarias, intensidad de ejercicio relativamente baja en el grupo BFR y duración) (33). Este estudio proporciona apoyo para el uso de ciclos de ER con BFR de baja intensidad para producir pequeños aumentos en la hipertrofia muscular similar, o quizás ligeramente superior, al HIT. Otro estudio comparó los efectos anabólicos de 4 sesiones de ciclismo HIT-ER semanales (30 minutos de ciclismo al 60-70% VO₂ de reserva), ciclismo ER con BFR de baja intensidad (30 minutos de ciclismo al 40% VO₂ de reserva usando 80 % presión restrictiva personalizada) y EF de alta intensidad (70% 1RM, 4 x prensa de piernas con falla) en adultos jóvenes sedentarios (14). Después de 8 semanas, solo los grupos EF y ER con BFR aumentaron el CSA del vasto lateral (12,5% en EF y 10,7% en ER con BFR) con grandes tamaños de efecto (TE) (1,24-1,41) y sin diferencias entre grupos, lo que indica que las intensidades de ejercicio en ambos grupos fueron suficientes para producir un gran estímulo hipertrófico (14). La fuerza muscular también mejoró en los grupos EF y ER con BFR, pero en un grado mucho mayor en el grupo EF (35%, TE=2,17) que en el grupo ER con BFR (9%, ES=0,58). Sin embargo, se debe tener cuidado al extrapolar los resultados a atletas físicos, dado que la cohorte eran adultos jóvenes sedentarios y, por lo tanto, la magnitud de los efectos probablemente sería mucho menor en individuos entrenados en fuerza.

Es interesante notar las diferencias en la frecuencia, intensidad del ejercicio y duración del entrenamiento del estudio de Conceição et al. (14) en comparación con el estudio de Kim et al. (33), lo que puede proporcionar algunas ideas sobre las prescripciones de ejercicio adecuadas para el atleta físico. Específicamente, los resultados de estos estudios a largo plazo sugieren que la hipertrofia significativa del ER con BFR (si ocurre) probablemente demore más (>8 semanas), requiera frecuencias más altas (4 x/semana) y debe ser de suficiente intensidad (en al menos 40% VO₂ de reserva o FCR) para producir los estímulos necesarios para provocar adaptaciones positivas, especialmente en individuos entrenados en fuerza que buscan maximizar el potencial hipertrófico. Con respecto al atleta físico, se puede plantear la hipótesis de que el ER con BFR muy probablemente producirá una hipertrofia mínima o nula debido al estado de entrenamiento avanzado del individuo, aunque esta hipótesis requiere evidencia empírica. Una posibilidad más prometedora es que el uso de ER con BFR de duración, frecuencia e intensidad similares a la del ER tradicional, puede mitigar la pérdida muscular generalmente observada durante períodos prolongados de restricción calórica (es decir, preparación para una competencia). Esta hipótesis justifica una mayor investigación, pero hasta que sea llevada a cabo, el uso de BFR durante el ER parecería

tener más ventajas que desventajas para el atleta físico.

Recomendaciones metodológicas y prácticas para aplicar la restricción del flujo sanguíneo

La implementación de BFR en el ER para atletas físicos requiere algunas consideraciones metodológicas básicas. La BFR se puede aplicar en la parte proximal de las extremidades (brazos o piernas) utilizando un dispositivo neumático o no neumático. Los dispositivos neumáticos son manguitos que se inflan manualmente (usando una bomba) o automáticamente (usando un dispositivo inalámbrico o no) a una presión personalizada llamada presión de oclusión de la extremidad (POE). La POE es la presión mínima requerida para restringir completamente el flujo arterial y el retorno venoso, y el ejercicio se realiza a un porcentaje de esa presión para minimizar el riesgo de eventos adversos y aumentar las respuestas metabólicas al entrenamiento con BFR (53). Por ejemplo, aplicar un 40% de POE a una extremidad sería el 40% de la presión mínima requerida para ocluir completamente tanto el flujo arterial como el retorno venoso, asegurando el flujo arterial durante el ejercicio. Se ha demostrado que la POE varía según la posición del cuerpo (29,61), por lo que es importante evaluar la POE en la posición de entrenamiento, pues sobrestimar o subestimar la presión podría limitar la efectividad o aumentar el riesgo de eventos adversos (53). La POE se evalúa con frecuencia en manguitos neumáticos con un dispositivo automático conectado que utiliza un sensor de presión de pulso, manualmente a través de un Doppler externo o con pulsioximetría (solo en las extremidades superiores) (37,77). Los 3 tipos de mediciones para determinar la POE han demostrado ser válidos a pesar de poseer diferencias significativas en coste para el consumidor (36). Es decir, los dispositivos neumáticos automáticos atados son muy costosos, lo que limita su utilidad práctica en el entorno del gimnasio, mientras que los manguitos neumáticos no automáticos sin ataduras más un Doppler externo son más asequibles. Para la parte superior del cuerpo, la pulsioximetría proporciona una alternativa superior tanto desde el punto de vista económico como de su facilidad de uso. Aun así, los manguitos neumáticos siguen siendo relativamente costosos desde una perspectiva de uso práctico, pero la tecnología permite medidas reproducibles y válidas de la oclusión arterial de una sesión a otra, maximizando la seguridad. La tecnología más reciente utiliza brazaletes neumáticos inalámbricos, aunque la validez de tales dispositivos aún no se ha determinado con respecto al entrenamiento BFR. Por lo general, el ejercicio se realiza entre el 40 y el 50% de la POE en los brazos y entre el 50 y el 80% de la POE en las piernas (53). Finalmente, se ha demostrado que la POE sigue siendo similar en el transcurso de 8 semanas, lo que hace que la prescripción de presiones individualizadas mediante el uso de un dispositivo inalámbrico o Doppler externo sea más factible en la práctica (y probablemente más segura) que los manguitos no neumáticos (42).

A diferencia de los manguitos neumáticos, los manguitos no neumáticos, como las rodilleras (KW), ejercen presión sobre la extremidad mediante una mayor tensión en la extremidad proximal aplicada por el usuario. Aunque las KW han demostrado eficacia en varios estudios (8,41,76), no permiten presiones personalizadas de una sesión a otra (6). Los resultados de Bell (6) sugieren que el establecimiento de presiones en relación con un ajuste de "7/10", como se recomienda en investigaciones anteriores, puede sobrestimar o subestimar las presiones aplicadas hasta en un 25% durante un período de 3 días. Esto puede alterar significativamente la efectividad del ejercicio BFR sin fallo y disminuir la seguridad general debido al ejercicio potencial bajo oclusión total.

Recientemente, para mitigar el riesgo de una aplicación excesiva de presión del manguito con KW, Abe et al. (5) mostraron que tirar de las correas elásticas de diseño personalizado en un 10-20% de la longitud de reposo inicial redujo el flujo arterial de manera similar a un manguito de nailon presurizado inflado al 40-80% de la POE. Thiebaud et al. (72) brindaron soporte adicional para el uso del BFR, usando correas extensibles hasta 2 pulgadas capaces de cubrir hasta el 85% de la circunferencia del muslo. Sin embargo, es importante señalar que estas correas elásticas fueron diseñadas especialmente para permitir una determinación precisa de la magnitud del estiramiento; Los KW elásticos comprados por el consumidor son más difíciles de estandarizar, lo que hace que el BFR sea más difícil de implementar en la práctica cuando se requieren presiones específicas. Hasta que estas correas se generalicen más para la compra del consumidor, los dispositivos neumáticos BFR son la opción preferida para su uso en el entorno del gimnasio.

Los dispositivos neumáticos se recomiendan para uso práctico sobre KW porque pueden proporcionar un estímulo restrictivo más objetivo y consistente, minimizando el riesgo de eventos adversos. La tecnología más nueva y recientemente lanzada ha eliminado algunas de las barreras anteriores a la implementación práctica, incluido el costo y la necesidad de un Doppler externo para la evaluación de POE. Estos dispositivos pueden determinar de forma inalámbrica la POE mediante un sensor de presión de pulso, lo que los hace más aptos para su uso en gimnasio. Dicho esto, si las personas aún desean implementar KW en su rutina de ejercicios BFR, deben mostrar precaución y reducir la presión aplicada si se produce entumecimiento, hormigueo o hematomas excesivos debajo del área de oclusión.

Además de las recomendaciones mencionadas en la Tabla 1 para la integración de la BFR en los regímenes de ER, es importante tener en cuenta que la hipertrofia inducida por el ER con BFR es significativamente menor que la del EF con BFR (63), similar a lo que se ha observado en la investigación que compara la ER no ocluida con los protocolos tradicionales de EF (24). Por lo tanto, el papel más adecuado para aplicar ER con BFR en el atleta físico aparentemente sería mejorar el gasto calórico y aumentar la carga de trabajo del miocardio para soportar un déficit calórico como un complemento a los programas tradicionales de EF, mientras que potencialmente ayuda a mejorar el medio anabólico y así preservar la masa muscular. Tal entorno puede ayudar a respaldar más ganancias anabólicas a través de aumentos en el diámetro de la arteria del conducto (12), capacidad anaeróbica (51), la transcripción de genes mitocondriales (10) y las mejoras en la actividad de la ATPasa Na⁺/K⁺ (11), todo lo cual puede permitir que el músculo que trabaja realice mayores volúmenes de ejercicio antes de una acumulación significativa de fatiga.

Tabla 1. Recomendaciones prácticas basadas en la evidencia para el entrenamiento aeróbico (EA) con restricción del flujo sanguíneo (BFR)

Variable de programación	Recomendación	Notas importantes
Modo	Caminar/andar en bicicleta/remo/step	<p>Caminar y andar en bicicleta son los modos más investigados. En remo se han observado beneficios significativos en la capacidad aeróbica máxima, aunque la hipertrofia no se midió (26). La máquina de step teóricamente podría aumentar la hipertrofia en comparación con otras formas de ER debido a una mayor activación muscular. Minimizar el grado de daño/dolor muscular después del ejercicio es crucial para maximizar la frecuencia de ER y EF, por lo que no se recomienda trotar/correr con BFR a pesar de algunas evidencias que sugieren que puede aumentar la hipertrofia del muslo y reducir los marcadores de daño relacionados con la carrera.</p>
Frecuencia	1-2 veces/día hasta 3 semanas; 2-4 x/semana > 3 semanas	<p>Parece haber una relación dosis-respuesta con el ciclo de ER e hipertrofia relacionada con la duración (49), y el entrenamiento con BFR puede seguir patrones similares. Una revisión reciente sobre hipertrofia después del ciclismo en adultos jóvenes no entrenados mostró un efecto grande (0,91) en estudios que realizaron entrenamiento continuo de ER con más de 40 sesiones, mientras que se observaron tamaños de efecto significativamente más pequeños sobre la hipertrofia (0,21) en estudios con menos de 40 sesiones de ER con BFR. Esto puede ser un reflejo del potencial hipertrofico absoluto más bajo del ER debido a una menor síntesis de proteínas. La programación de ER con BFR debe basarse en el momento de la temporada en que esté el atleta físico (es decir, en temporada o fuera de temporada), pero parece que los bloques cortos y de alta frecuencia de ER con BFR son adecuados para aumentar la respuesta hipertrofica, al menos, en jóvenes y ancianos sanos (2,47).</p>
Intensidad	Al menos 40% FCR o VO2 de reserva	<p>Algunas investigaciones han demostrado que intensidades por debajo del 40% de la FCR o VO2máx no promueven una hipertrofia significativa durante ER con BFR (2,33). Cuando se usa FCR, parece haber una subestimación de la intensidad relativa (con respecto al VO2máx) en individuos entrenados, probablemente requiriendo mayores intensidades de ejercicio para lograr una estimulación muscular adecuada (54,65). El % del VO2máx es probablemente más preciso para reflejar las recomendaciones de la investigación, pero requiere el conocimiento del VO2máx, lo que hace que la FCR resulte más práctica.</p>
% POE	Brazos: 40–50% POE Piernas: 50–80% POE	<p>Se ha observado que una presión del 50% de POE en las piernas produce aumentos significativos en el gasto energético (GE) respecto a una situación control emparejada (55). Las presiones más altas aumentan el GE pero son significativamente más incómodas (55), lo que potencialmente limita la aplicabilidad. Sin embargo, debido a la baja activación muscular durante la ER, pueden ser necesarias presiones más altas (es decir, 80% de POE en las piernas) para maximizar la hipertrofia, como se ha demostrado en EF con BFR con un % de 1RM más bajo (38).</p>
Aplicación continua o intermitente (desinflado durante el reposo)	Cualquiera	<p>La aplicación continua durante ER con BFR aumenta la respuesta de inflamación celular aguda que puede contribuir a la hipertrofia observada tras ER con BFR (45). Por el contrario, las series cortas y de alta intensidad de ciclismo con BFR entre el 60 y el 80% de la carga de trabajo máxima tolerada, mejoraron el rendimiento y la función de Na⁺/K⁺ y ATPasa en las fibras musculares de tipo I y II, disminuyendo su fatigabilidad (11).</p>

Continuo/Intervalos	Ambos	La aplicación continua puede proporcionar un mayor estímulo hipertrofico, mientras que el ejercicio por intervalos puede promover una respuesta de fuerza superior a las formas continuas de ER con BFR debido a intensidades relativas más altas de ejercicio y niveles de activación muscular (49). Se ha demostrado que el ER con BFR en intervalos de baja intensidad supera al entrenamiento en intervalos sin BFR en VO2máx y fuerza muscular (18).
Tiempo máximo de uso	30 min	Por razones de seguridad, limite la duración del ejercicio continuo a 30 minutos; la mayoría de los estudios sobre ER con BFR no superan los 30 min de aplicación continua.
HIIT y BFR	Sí, pero probablemente no sea óptimo para la hipertrofia	Se puede realizar ER con BFR usando entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), pero no parece que incremente el área de sección transversal de las fibras tipo I o tipo II en ciclistas tras 4 semanas, a pesar de que aumenta el VO2máx (44). Las recomendaciones prácticas de culturismo varían en cuanto a si el HIIT debe usarse como una estrategia para crear un déficit de energía, con duraciones más bajas recomendadas para mantener o mejorar la hipertrofia (28).

% 1RM = porcentaje de 1 repetición máxima; ER = entrenamiento aeróbico; BFR = restricción del flujo sanguíneo; GE = gasto energético; HIIT = entrenamiento en intervalos de alta intensidad; POE = presión de oclusión de la extremidad; EF = entrenamiento de fuerza. aFCR = frecuencia cardíaca de reserva, calculada por la fórmula de Karvonen para determinar la intensidad del ejercicio cardiovascular: $FCR = [(220 - \text{edad} - \text{frecuencia cardíaca en reposo}) \times \% \text{ de intensidad de FC}] + \text{frecuencia cardíaca en reposo}$. b VO2 de reserva = Similar a los valores de FCR pero basado en las ecuaciones de VO2máx. Definido como: $VO2\text{reserva} = VO2\text{máx} - VO2\text{reposo}$. cPOE = presión de oclusión de la extremidad = presión mínima necesaria para ocluir completamente tanto el flujo arterial como el retorno venoso de una extremidad, generalmente determinada con un sensor de presión de pulso, Doppler externo u pulsioximetría. d Continuo describe cuándo se realiza la actividad durante un período de tiempo determinado (es decir, 10 minutos). El intervalo describe una serie más corta de ejercicio realizado a una intensidad más alta con períodos de descanso entre series.

Varios estudios han demostrado la eficacia del ER con BFR para aumentar el GE total en comparación con el ejercicio de flujo libre (13,43,55,62). Un estudio mostró que el ER con BFR aumentó el VO2 un ~5% con respecto ER con flujo libre (46). Otro estudio informó que 14 minutos de ER con BFR caminando al 50% POE y al 40% de la velocidad máxima de carrera (75.6 km/h) quemaron 90 versus 76 kcal en flujo libre (+ 18.7% de diferencia) (55); los aumentos adicionales de la presión no aumentaron la respuesta del GE en el mismo grado, sino que aumentaron exponencialmente la incomodidad percibida, lo que podría limitar la adherencia a largo plazo utilizando presiones más altas. Cabe señalar que la magnitud general de las diferencias en GE es modesta entre las condiciones, al menos durante la actividad en sí, y, por lo tanto, tiene un significado práctico cuestionable. Queda por dilucidar si el ER con BFR mejora el exceso de consumo de oxígeno después del ejercicio (EPOC) más que el ER con flujo libre.

Con respecto a los mecanismos hipertroficos teorizados en el ER, Ogawa et al. (45) informaron que ni la marcha rápida (87 m/min = 75 km/h) ni la marcha lenta (56 m/min = 47 km/h) influyeron en los valores de inflamación celular aguda. Sin embargo, el ciclo de BFR de intervalo al 70% POE con una cadencia de 70 revoluciones por minuto (rpm) al 30% de potencia máxima produjo niveles de lactato similares a los intervalos de potencia máxima de 90-105% (16). Aunque la hipertrofia no se midió en estos estudios agudos, los hallazgos pueden tener implicaciones para la prescripción de ejercicio para maximizar el GE y la hipertrofia después de la aplicación crónica de ER con BFR. Caminar rápido (4,8–5,6 km/h) o andar en bicicleta (70–80 rpm) combinado con BFR con al menos 50% de POE, potencialmente podría maximizar el GE y el potencial hipertrofico del ER con BFR en regímenes de entrenamiento a largo plazo.

Hay una escasez de investigación sobre el ER con BFR y atletas (y ninguna sobre atletas físicos), lo que limita la capacidad de transferir los hallazgos de la investigación en la práctica. Según el conocimiento de los autores, sólo se han realizado 4 estudios en

atletas que utilizan BFR durante ER: 2 estudios utilizaron ciclismo en intervalos de alta intensidad con BFR aplicado durante el período de descanso (44,71); 1 involucró a remeros de élite que sustituyeron parte de su volumen de ER semanal con BFR de baja intensidad (?65% FC_{máx}) (27); y el otro fue un programa corto de caminata de alta frecuencia en jugadores de baloncesto universitarios (51). Ninguno de estos estudios informó medidas de resultado relevantes (GE, hipertrofia del músculo del muslo) para el físico atleta. Por lo tanto, se necesita más investigación para generalizar mejor las conclusiones en cuanto al uso potencial del ER con BFR para el atleta físico.

El ER con BFR se puede realizar de forma continua o en intervalos. La aplicación continua del ER con BFR implica realizar un modo de ER (es decir, caminar/andar en bicicleta/remo/step) durante un período de tiempo establecido en el que los manguitos BFR están inflados en todo momento. La aplicación interválica del ER con BFR implica realizar cargas de trabajo más pequeñas (a una intensidad similar o mayor que el ER con BFR continua) durante un período establecido seguido de un breve descanso entre conjuntos (generalmente 1 minuto) donde la BFR se libera o se mantiene. La investigación realizada en adultos sanos indica que cualquiera de los métodos puede provocar adaptaciones hipertróficas, pero los intervalos de ciclismo pueden producir un estrés metabólico superior y una activación muscular debido a un mayor rango de movimiento de la rodilla, lo que aumenta potencialmente el desarrollo muscular del ER con BFR sobre los protocolos de caminata (14,16). Se necesita más investigación para investigar directamente las acumulaciones de masa muscular después del uso crónico de estos protocolos.

Finalmente, alguna evidencia indica que el ER con BFR se puede realizar a frecuencias relativamente altas (1-2 x/día) para ayudar a maximizar la capacidad aeróbica y mejorar la hipertrofia muscular, aunque en menor grado de lo que se esperaría durante el EF con BFR (2,51). La figura 1 ilustra cómo el ER con BFR podría integrarse en el programa de entrenamiento de un atleta físico. Nota: A pesar de la falta de fatiga post-ejercicio producida por el ER con BFR, se recomienda realizar el ER con BFR después del EF para maximizar los resultados hipertróficos (32,45).

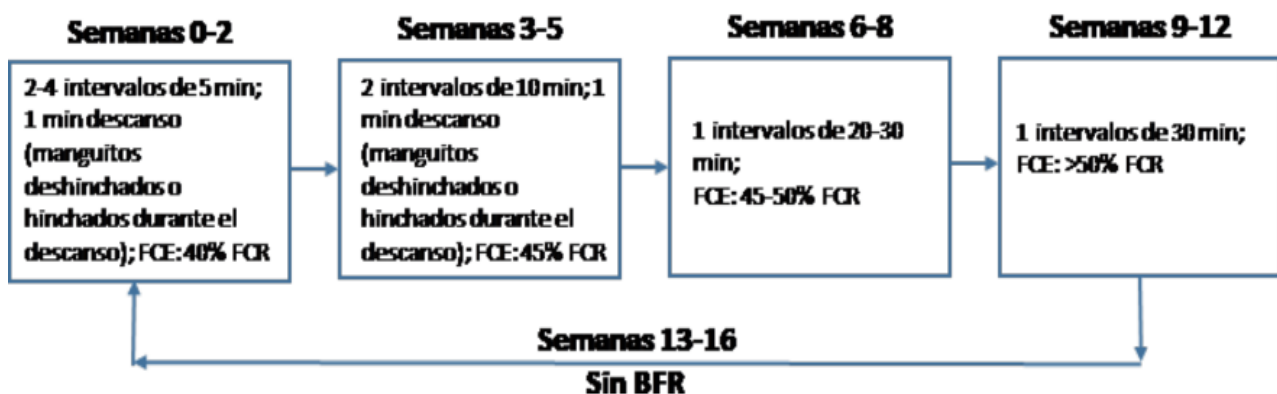


Figura 1. Un enfoque hipotético de 16 semanas para el entrenamiento aeróbico con BFR para el físico atleta. El ejercicio puede ser caminar, andar en bicicleta o máquina de step. La BFR se aplica de forma bilateral. La presión es de 50 a 80% POE. El tiempo objetivo no comienza hasta que se alcanza la FCE. Tenga en cuenta que la frecuencia de BFR se mantiene de 2 a 4 veces por semana. BFR = restricción del flujo sanguíneo; FCR = reserva de frecuencia cardíaca; POE = presión de oclusión de la extremidad; FCE = frecuencia cardíaca objetivo

En la práctica, se recomienda utilizar la FCR porque es más práctico que el VO₂máx o VO₂ de reserva. Aunque la FCR no está exenta de limitaciones, es decir, tiende a

subestimar la intensidad relativa del ejercicio en individuos entrenados (56,67), es la forma más útil en la práctica de prescribir la intensidad del ejercicio. Para determinar la frecuencia cardíaca de entrenamiento (FCE) adecuada para el ER con BFR siga los siguientes pasos:

1. Determine la frecuencia cardíaca de reposo (FC_{reposo}) en la posición en la que se realizará el ejercicio.
2. Calcule la frecuencia cardíaca máxima teórica (FCM) con la fórmula: $FCM = 220 - \text{edad}$
3. Calcule la FCR: $FCR = FCM - FC_{\text{reposo}}$
4. Determine la FCE aplicando: $FCE = FCR \times \text{intensidad objetivo (0,3 - 0,5; para 30% o 50%, respectivamente)} + FC_{\text{reposo}}$

Por ejemplo, una persona de 20 años con una FC_{reposo} de 60 ppm, desea entrenar al 40% de la FCR. Entonces, $FCE = \{[(220-20)-60] \times 0.4\} + 60 = 116$ ppm

Los intervalos cortos de ER con BFR durante las sesiones iniciales de un programa de entrenamiento pueden permitir que las personas se aclimaten con éxito al ejercicio y aumenten hasta ~ 30 minutos de aplicación continua (Figura 1). Aunque la evidencia actual sugiere que el ER con BFR se tolera bien, la experiencia práctica sugiere que, si los individuos no están acostumbrados al mayor esfuerzo requerido para mantener la FCE en relación con el ER normal, el ER con BFR se convierte en una estrategia menos efectiva para influir en la hipertrofia y/o el gasto calórico, especialmente cuando la FCR es baja (<30%). Por lo tanto, la programación debe tener en cuenta un período de aumento en el que la FCE se mantenga de manera constante y las personas puedan alcanzar los niveles de prescripción antes de progresar a formas más largas y continuas de ER con BFR.

También existe una justificación para incorporar protocolos de ER con BFR continuos e intermitentes en un programa de entrenamiento concurrente. Las rutinas intermitentes de ER con BFR podrían realizarse a una intensidad relativamente más alta (es decir, >50% VO₂máx), durante un período más corto (<2-5 minutos), aumentando la activación muscular y el estrés hipertrófico concomitante. Además, el desinflado del manguito durante los períodos de descanso entre series podría facilitar adaptaciones vasculares y/o específicas de las fibras musculares adicionales debido a la reperfusión y la respuesta hiperémica de los músculos en ejercicio (11,12). La combinación de ambos tipos de protocolos en un programa de entrenamiento a largo plazo podría, teóricamente, proporcionar un efecto aditivo para el atleta físico, aunque esto sigue siendo especulativo y justifica la investigación.

Las recomendaciones prácticas para maximizar la hipertrofia para el atleta físico durante el ER con BFR probablemente deberían involucrar una combinación de las estrategias mencionadas anteriormente que han demostrado ser eficaces en esta revisión. La figura 1 describe un programa periodizado de caminata/ciclismo/step de 16 semanas que se enfoca en desarrollar la tolerancia al ER con BFR usando intervalos cortos (5 minutos) a una FCE menor (40% FCR) pasando a una forma cardiovascular de manera más larga (30 minutos) a una mayor FCE (>50% FCR). Este protocolo probablemente maximice la inflamación celular y el estrés metabólico debido al tiempo prolongado bajo oclusión y a las intensidades relativas más altas (al final del programa). Por el contrario, los episodios cortos (es decir, 5-10 series de 2-3 minutos, 1 minuto de descanso desinflado) de intervalo de ER con BFR de alta frecuencia (1-2 x/día durante 14 días) podrían usarse

para maximizar el estrés vascular por isquemia/reperfusión y probablemente podría realizarse a intensidades de ejercicio incluso más altas (>50% FCR) que el ER con BFR continua, elevar la activación muscular y ayudar en la regulación positiva del medio anabólico, como el factor de crecimiento endotelial vascular y el óxido nítrico. Estos factores apoyan la angiogénesis, la dilatación vascular y permiten un mejor suministro de oxígeno a las fibras musculares en funcionamiento, lo que en teoría mejora los efectos del EF con o sin BFR. Es lógico pensar que una combinación de estos 2 protocolos podría proporcionar al atleta físico, no solo beneficios hipertróficos, sino también aeróbicos que podrían ayudar en la recuperación entre series.

Es de destacar que una revisión reciente informó que 2-3 días a la semana de ER con BFR de alta intensidad (?80-90% $\dot{V}O_2\text{max}$) no parece proporcionar beneficios cardiovasculares adicionales al ejercicio de flujo libre sobre el $\dot{V}O_2\text{max}$ (21). Sin embargo, en los estudios incluidos, se utilizaron correr y andar en bicicleta y no se evaluó la hipertrofia, por lo que solo es especulativo si el ejercicio de mayor intensidad podría proporcionar un beneficio hipertrófico adicional cuando se usa junto con un programa tradicional de EF pesado típico de atletas físicos. Curiosamente, ambos estudios (30,52) informaron adaptaciones musculares periféricas, incluyendo la mejora de la economía de carrera y consumo de oxígeno muscular submáximo (52), y la producción de potencia máxima (30), lo que sugiere la posibilidad de una mayor capilarización de los músculos que trabajan (aunque esto no se midió en ninguno de los estudios). La presencia de adaptaciones musculares periféricas en una variedad de protocolos de ejercicio con BFR destaca las formas potenciales únicas en las que la adición de ER con BFR a la rutina de entrenamiento concurrente de un atleta físico podría respaldar aún más y/o maximizar la hipertrofia.

A pesar del potencial de la carrera para inducir cambios musculares periféricos favorables que pueden favorecer una mayor hipertrofia, no lo recomendamos como un enfoque de ER con BFR debido a las mayores demandas en las extremidades inferiores y al mayor riesgo de aumento del daño muscular y vascular debido a los estímulos oclusivos. El mayor impacto de una sola pierna y el mayor componente excéntrico podrían afectar negativamente la recuperación entre las competiciones de fuerza y, como resultado, reducir las adaptaciones hipertróficas.

Para reducir el riesgo de dificultar la recuperación entre series de EF, el ER con BFR debe realizarse utilizando modos de ejercicio que no faciliten aún más un aumento del daño muscular. El daño muscular puede impedir el proceso de recuperación y reducir el potencial hipertrófico al limitar la frecuencia o la intensidad del entrenamiento, consecuencias indeseables para el atleta físico que busca maximizar la hipertrofia durante la temporada baja o mantener la masa muscular durante la preparación de la competición. Los modos de ejercicio como caminar y andar en bicicleta son los más favorables debido a sus bajas demandas excéntricas, así como a la presencia de evidencia que respalda su eficacia en la producción de hipertrofia muscular mediante ER con BFR. La máquina de step, una opción de ER común para los atletas físicos, es otra alternativa viable a caminar/andar en bicicleta, pero ha de controlarse la intensidad para evitar un elevado daño muscular. Probablemente, el ejercicio Stairmaster es la mejor alternativa porque también soporta peso y puede intensificarse fácilmente sin un impacto significativo en las piernas, lo que minimiza la probabilidad de daño muscular adicional. La evidencia basada en la práctica sugiere que tanto el ejercicio aeróbico continuo como a intervalos de varias intensidades pueden funcionar para apoyar la hipertrofia en el atleta

físico, pero se debe prestar especial atención a la época de la temporada (temporada baja/preparación de la competición), la tolerancia al BFR (nuevo o experimentado en su uso) y los objetivos del programa de ER (maximizar la hipertrofia/capacidad aeróbica/gasto calórico) antes de determinar el modo, la frecuencia, las presiones de BFR y los protocolos de ejercicio.

Resumen y conclusiones

Aunque los beneficios del ER con BFR son menos concluyentes que los del EF con BFR, la estrategia aumenta modestamente el GE, la inflamación celular y (en algunos modos de ejercicio) el estrés metabólico en comparación con el ejercicio de flujo libre combinado con el trabajo, todos los cuales pueden ser beneficiosos para el atleta físico, ya sea ayudando a mantener/producir un déficit calórico o creando un ambiente anabólico para ayudar en el crecimiento muscular. Ambas aplicaciones pueden usarse en conjunto para maximizar los resultados durante la preparación previa a la competición; sin embargo, se justifica la precaución con el uso continuo a largo plazo.

A pesar de que, en general, se ha demostrado que la BFR es segura en adultos sanos entrenados en fuerza, no se sabe mucho sobre sus efectos crónicos (más de 16 semanas) en la función vascular (17). Por lo tanto, es aconsejable programar un período de 4 semanas en el que la BFR se elimine por completo del entrenamiento para tener en cuenta cualquier posible evento adverso aún no determinado. Puede haber menos potencial de respuestas vasculares adversas aplicando ER con BFR en comparación al EF con BFR, debido a las diferencias en las presiones intravasculares de la disminución de la activación muscular y la carga mecánica, lo que potencialmente permite realizar el ER con BFR durante períodos continuos más prolongados (8-12 semanas) que el EF con BFR, aunque esta hipótesis requiere apoyo empírico.

Con respecto al atleta físico, existen numerosas vías para futuras investigaciones que podrían ayudar a determinar mejor la efectividad de la BFR dentro de esta población. Actualmente no hay estudios que comparen los efectos hipertróficos de un programa de ER típico con un programa de ER con BFR realizado en atletas físicos altamente entrenados, ya sea en la temporada baja o durante la preparación de la competición. Tampoco hay estudios que utilicen un enfoque combinado de EF-ER con BFR en comparación con el mismo enfoque sin BFR sobre la hipertrofia muscular. Finalmente, la prescripción de ejercicio y los modos fuera del ciclismo, la caminata y el remo aún no se han investigado, lo que hace que las recomendaciones prácticas basadas en evidencia sean algo difíciles y en gran parte, basadas en resultados experimentales.

Referencias

1. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily KAATSU resistance training. *Int J Kaatsu Train Res* 1: 6–12, 2005.
2. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* 100: 1460–1466, 2006.
3. Abe T, Fujita S, Nakajima T, et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂MAX in young men. *J Sports Sci Med* 9:

452–458, 2010.

4. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, et al. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *J Geriatr Phys Ther* 33: 34–40, 2010.

5. Abe T, Mouser JG, Dankel SJ, et al. A method to standardize the blood flow restriction pressure by an elastic cuff. *Scand J Med Sci Sports* 29: 329–335, 2019.

6. Bell ZW, Dankel SJ, Spitz RW, et al. The perceived tightness scale does not provide reliable estimates of blood flow restriction pressure. *J Sport Rehabil* 29: 516–518, 2019.

7. Bennett H, Slattery F. Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity and performance: A systematic review. *J Strength Cond Res* 33: 572–583, 2019.

8. Bjornsen T, Wernbom M, Kirketeig A, et al. Type 1 muscle fiber hypertrophy after blood flow-restricted training in powerlifters. *Med Sci Sports Exerc* 51: 288–298, 2019.

9. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, Konig D. Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 49: 95–108, 2019.

10. Christiansen D, Murphy RM, Bangsbo J, Stathis C, Bishop DJ. Repeated-ischaemic exercise enhances mitochondrial and ion transport gene adaptations in human skeletal muscle: Role of muscle redox state and AMPK. *bioRxiv* 66: 156505, 2017.

11. Christiansen D, Eibye KH, Rasmussen V, et al. Cycling with blood flow restriction improves performance and muscle K(+) regulation and alters the effect of anti-oxidant infusion in humans. *J Physiol* 597: 2421–2444, 2019.

12. Christiansen D, Eibye K, Hostrup M, Bangsbo J. Training with blood flow restriction increases femoral artery diameter and thigh oxygen delivery during knee-extensor exercise in recreationally trained men. *J Physiol* 598: 2337–2353, 2020.

13. Conceicao MS, Gaspari AF, Ramkrapes APB, et al. Anaerobic metabolism induces greater total energy expenditure during exercise with blood flow restriction. *PLoS One* 13: e0194776, 2018.

14. Conceicao MS, Junior EMM, Telles GD, et al. Augmented anabolic responses after 8-wk cycling with blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc* 51: 84–93, 2019.

15. Cook CJ, Kilduff LP, Beaven CM. Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 166–172, 2014.

16. Corvino RB, Rossiter HB, Loch T, Martins JC, Caputo F. Physiological responses to interval endurance exercise at different levels of blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol* 117: 39–52, 2017.

17. da Cunha Nascimento D, Schoenfeld BJ, Prestes J. Potential implications of blood flow restriction exercise on vascular health: A brief review. *Sports Med* 50: 73–81, 2020.

18. de Oliveira MF, Caputo F, Corvino RB, Denadai BS. Short-term low-intensity blood

flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scand J Med Sci Sports* 26: 1017–1025, 2016.

19. Fahs CA, Loenneke JP, Thiebaud RS, et al. Muscular adaptations to fatiguing exercise with and without blood flow restriction. *Clin Physiol Funct Imaging* 35: 167–176, 2015.

20. Farup J, de Paoli F, Bjerg K, et al. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports* 25: 754–763, 2015.

21. Formiga MF, Fay R, Hutchinson S, et al. Effect of aerobic exercise training with and without blood flow restriction on aerobic capacity in healthy young adults: A systematic review with meta-analysis. *Int J Sports Phys Ther* 15: 175–187, 2020.

22. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol* 108: 1199–1209, 2010.

23. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 103: 903–910, 2007.

24. Grgic J, Mcllvenna LC, Fyfe JJ, et al. Does aerobic training promote the same skeletal muscle hypertrophy as resistance training? A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 49: 233–254, 2019.

25. Gronfeldt BM, Lindberg Nielsen J, Mieritz RM, Lund H, Aagaard P. Effect of blood-flow restricted vs heavy-load strength training on muscle strength: Systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* 30: 837–848, 2020.

26. Gundermann DM, Walker DK, Reidy PT, et al. Activation of mTORC1 signaling and protein synthesis in human muscle following blood flow restriction exercise is inhibited by rapamycin. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 306: E1198–E1204, 2014.

27. Held S, Behringer M, Donath L. Low intensity rowing with blood flow restriction over 5 weeks increases VO₂max in elite rowers: A randomized controlled trial. *J Sci Med Sport* 23: 304–308, 2019.

28. Helms E, Fitschen PJ, Aragon A, Cronin J, Schoenfeld BJ. Recommendations for natural bodybuilding contest preparation: Resistance and cardiovascular training. *J Sports Med Phys Fitness* 55: 164–178, 2015.

29. Hughes L, Jeffries O, Waldron M, et al. Influence and reliability of lower-limb arterial occlusion pressure at different body positions. *PeerJ* 6. e4697, 2018.

30. Keramidas ME, Kounalakis SN, Geladas ND. The effect of interval training combined with thigh cuffs pressure on maximal and submaximal exercise performance. *Clin Physiol Funct Imaging* 32: 205–213, 2012.

31. Khoubi M, Habibi A, Ghanbarzadeh M, Shakerian S, Mirzaii B. Acute interval training with blood flow restriction could not increase ERK, p38 and decrease myostatin. *J Sports*

Med Phys Fitness 60: 32–36, 2020.

32. Kim D, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T, Bemben MG. The acute muscular effects of cycling with and without different degrees of blood flow restriction. *Acta Physiol Hung* 102: 428–441, 2015.

33. Kim D, Singh H, Loenneke JP, et al. Comparative effects of vigorous-intensity and low-intensity blood flow restricted cycle training and detraining on muscle mass, strength, and aerobic capacity. *J Strength Cond Res* 30: 1453–1461, 2016.

34. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med Sci Sports Exerc* 40: 529–534, 2008.

35. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, et al. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc* 44: 406–412, 2012.

36. Laurentino GC, Loenneke JP, Mouser JG, et al. Validity of the handheld Doppler to determine lower-limb blood flow restriction pressure for exercise protocols. *J Strength Cond Res* 1–4, 2018. Epub ahead of print.

37. Lima-Soares F, Pessoa KA, Torres Cabido CE, et al. Determining the arterial occlusion pressure for blood flow restriction: Pulse oximeter as a new method compared with a handheld Doppler. *J Strength Cond Res* 1–5, 2020. Epub ahead of print.

38. Lixandrao ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol* 115: 2471–2480, 2015.

39. Lixandrao ME, Ugrinowitsch C, Berton R, et al. Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 48: 361–378, 2018.

40. Loenneke JP, Thrower AD, Balapur A, Barnes JT, Pujol TJ. Blood flow-restricted walking does not result in an accumulation of metabolites. *Clin Physiol Funct Imaging* 32: 80–82, 2012.

41. Luebbbers PE, Fry AC, Kriley LM, Butler MS. The effects of a 7-week practical blood flow restriction program on well-trained collegiate athletes. *J Strength Cond Res* 28: 2270–2280, 2014.

42. Mattocks KT, Mouser JG, Jessee MB, et al. Perceptual changes to progressive resistance training with and without blood flow restriction. *J Sports Sci* 37: 1857–1864, 2019.

43. Mendonca GV, Vaz JR, Teixeira MS, Gracio T, Pezarat-Correia P. Metabolic cost of locomotion during treadmill walking with blood flow restriction. *Clin Physiol Funct Imaging* 34: 308–316, 2014.

44. Mitchell EA, Martin NRW, Turner MC, Taylor CW, Ferguson RA. The combined effect of sprint interval training and postexercise blood flow restriction on critical power, capillary

- growth, and mitochondrial proteins in trained cyclists. *J Appl Physiol* (1985) 126: 51–59, 2019.
45. Ogawa M, Loenneke JP, Yasuda T, et al. Time course changes in muscle size and fatigue during walking with restricted leg blood flow in young men. *J Phys Educ Sport Manag* 3: 14–19, 2012.
46. Ozaki H, Brechue WF, Sakamaki M, et al. Metabolic and cardiovascular responses to upright cycle exercise with leg blood flow reduction. *J Sports Sci Med* 9: 224–230, 2010.
47. Ozaki H, Sakamaki M, Yasuda T, et al. Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 66: 257–263, 2011.
48. Ozaki H, Kakigi R, Kobayashi H, et al. Effects of walking combined with restricted leg blood flow on mTOR and MAPK signalling in young men. *Acta Physiol (Oxf)* 211: 97–106, 2014.
49. Ozaki H, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Cycle training induces muscle hypertrophy and strength gain: Strategies and mechanisms. *Acta Physiol Hung* 102: 1–22, 2015.
50. Ozaki H, Loenneke JP, Abe T. Blood flow-restricted walking in older women: Does the acute hormonal response associate with muscle hypertrophy? *Clin Physiol Funct Imaging* 37: 379–383, 2017.
51. Park S, Kim JK, Choi HM, et al. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur J Appl Physiol* 109: 591–600, 2010.
52. Paton CD, Addis SM, Taylor LA. The effects of muscle blood flow restriction during running training on measures of aerobic capacity and run time to exhaustion. *Eur J Appl Physiol* 117: 2579–2585, 2017.
53. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, et al. Blood flow restriction exercise: Considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol* 10: 533, 2019.
54. Pescatello LS, Riebe D, Thompson PD. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2014.
55. Pfeiffer PS, Cirilo-Sousa MS, Santos HHD. Effects of different percentages of blood flow restriction on energy expenditure. *Int J Sports Med* 40: 186–190, 2019.
56. Policarpo F, Valdivia-Moral P, Luna-Cruz MD, et al. Comparison between different prescription methods for aerobic training in young adults. *Sustainability* 11: 6420, 2019.
57. Rolnick N, Schoenfeld BJ. Blood flow restriction training and the physique athlete: A practical research-based guide to maximizing muscle size. *Strength Cond J* 1–15, 2020. doi: 10.1519/SSC.0000000000000553. Epub ahead of print.
58. Sakamaki M, G Bemben M, Abe T. Legs and trunk muscle hypertrophy following walk training with restricted leg muscle blood flow. *J Sports Sci Med* 10: 338–340, 2011.

59. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24: 2857–2872, 2010.
60. Shiromaru FF, de Salles Painelli V, Silva-Batista C, et al. Differential muscle hypertrophy and edema responses between high-load and low-load exercise with blood flow restriction. *Scand J Med Sci Sports* 29: 1713–1726, 2019.
61. Sieljacks P, Knudsen L, Wernbom M, Vissing K. Body position influences arterial occlusion pressure: Implications for the standardization of pressure during blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol* 118: 303–312, 2018.
62. Silva JCG, Domingos-Gomes JR, Freitas EDS, et al. Physiological and perceptual responses to aerobic exercise with and without blood flow restriction. *J Strength Cond Res* 1–7, 2019. Epub ahead of print.
63. Silva JCG, Pereira Neto EA, Pfeiffer PAS, et al. Acute and chronic responses of aerobic exercise with blood flow restriction: A systematic review. *Front Physiol* 10: 1239, 2019.
64. Sleboda DA, Roberts TJ. Internal fluid pressure influences muscle contractile force. *Proc Natl Acad Sci U S A* 117: 1772–1778, 2020.
65. Smiles WJ, Conceicao MS, Telles GD, et al. Acute low-intensity cycling with blood-flow restriction has no effect on metabolic signaling in human skeletal muscle compared to traditional exercise. *Eur J Appl Physiol* 117: 345–358, 2017.
66. Sprick J, Lloyd R, Eldridge J. The effects of vascular occlusion training on respiratory exchange ratio and energy expenditure when coupled with cardiovascular training. *Int J Exerc Sci* 8: 57–64, 2015.
67. Swain DP, Leutholtz BC. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ reserve, not to %VO₂max. *Med Sci Sports Exerc* 29: 410–414, 1997.
68. Takada S, Okita K, Suga T, et al. Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions. *J Appl Physiol* (1985) 113: 199–205, 2012.
69. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc* 32: 2035–2039, 2000.
70. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol* 86: 308–314, 2002.
71. Taylor CW, Ingham SA, Ferguson RA. Acute and chronic effect of sprint interval training combined with postexercise blood-flow restriction in trained individuals. *Exp Physiol* 101: 143–154, 2016.
72. Thiebaud RS, Abe T, Loenneke JP, et al. Acute muscular responses to practical low-load blood flow restriction exercise versus traditional low-load blood flow restriction and high-/low-load exercise. *J Sport Rehabil* 1–9, 2019. Epub ahead of print.

73. Thomas HJ, Scott BR, Peiffer JJ. Acute physiological responses to low-intensity blood flow restriction cycling. *J Sci Med Sport* 21: 969–974, 2018.
74. Willis SJ, Alvarez L, Borrani F, Millet GP. Oxygenation time course and neuromuscular fatigue during repeated cycling sprints with bilateral blood flow restriction. *Physiol Rep* 6: e13872, 2018.
75. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, et al. Concurrent training: A meta analysis examining interference of aerobic and resistance exercise. *J Strength Cond Res* 26: 2293–2307, 2012.
76. Yamanaka T, Farley RS, Caputo JL. Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *J Strength Cond Res* 26: 2523–2529, 2012.
77. Zeng Z, Centner C, Gollhofer A, König D. Blood-flow-restriction training: Validity of pulse oximetry to assess arterial occlusion pressure. *Int J Sports Physiol Perform* 1–7, 2019. Epub ahead of print.

Link to Original article: <https://www.congresodefuerza.com/journal-nsca-spain/puede-la-restriccion-del-flujo-sanguineo-utilizada-durante-el-entrenamiento-aerobico-mejorar-la-composicion-corporal-en-atletas-fisicos?elem=301971>