

5. Efectos de la terapia por restricción de flujo sanguíneo en la práctica fisioterápica: Una revisión bibliográfica

Javier Bleda Andrés

Grado en Fisioterapia
Murcia.

Juan Orcajada Pérez

Grado en Fisioterapia
Murcia.

Juan Pablo Estevan Sáez

Grado en Fisioterapia
Murcia.

Fecha recepción: 25.09.2020

Fecha aceptación: 26.10.2020

RESUMEN

La debilidad y atrofia musculares son fenómenos altamente prevalentes en el paradigma actual de las alteraciones musculoesqueléticas. Condicionantes previos como fracturas, enfermedades que conlleven inmovilización y otra serie de trastornos pueden conducir a una reducción de la función muscular, desembocando en situaciones de ineficacia. A lo largo del tiempo, el trabajo con cargas de aproximadamente el 70% del 1RM se ha considerado como el mínimo necesario para la estimulación de hipertrofia y ganancia muscular. No obstante, estudios recientes han demostrado cómo entrenamientos de baja carga llevados a cabo hasta el fallo muscular pueden estimular niveles de hipertrofia comparables en magnitud a las observadas en trabajos con alta carga si son mantenidos en el tiempo. En este sentido, el empleo del entrenamiento oclusivo o terapia por restricción de flujo sanguíneo ha evidenciado efectos positivos altamente significativos en términos de hipertrofia muscular, utilizando cargas relativamente bajas, situadas en torno al 30% del 1RM. A su vez, también se han constatado cambios en componentes vasculares y pulmonares tras llevar a cabo esta técnica de intervención, en conjunto con un trabajo de ejercicio aeróbico. En este proyecto de revisión bibliográfica, se pretende llevar a cabo un acercamiento a los principales fundamentos y puntos clave relacionados con la terapia por restricción de flujo, desde una descripción de los aspectos importantes en cuanto a sus antecedentes históricos, materiales empleados, fisiología y mecanismos de actuación, hasta las indicaciones y contraindicaciones de la terapia, modos de aplicación y evidencia previa relacionada, siempre desde un punto de vista fisioterápico clínico.

Palabras clave: ejercicio mediante restricción de flujo sanguíneo, entrenamiento kaatsu, entrenamiento oclusivo, ejercicio BFR, entrenamiento de resistencia.

ABSTRACT

Intervention by blood flow restriction in combination with low load work has shown efficacy in the production of muscle hypertrophy, with benefits comparable to those obtained in high load training. This therapeutic opportunity is a potential field of research in the current framework of physiotherapy, and it is precisely from this idea that this bibliographic review project is built. Aspects related to the origin of the restriction therapy, the materials that make it up, or notions of exercise physiology in vascular occlusion conditions will be described with the pertinent indications and contraindications. The main applications of this type of intervention and the level of prior evidence detected in this regard will also be emphasized, in order to provide the rationale and key points of blood restriction treatment.

Keywords: blood flow restriction exercise, kaatsu training, occlusion training, BFR exercise, resistance training.

PREFACIO

La debilidad y atrofia musculares son fenómenos altamente prevalentes en el paradigma actual de las alteraciones musculoesqueléticas. Condicionantes previos como fracturas, enfermedades que conlleven inmovilización y otra serie de trastornos pueden conducir a una reducción de la función muscular, desembocando en situaciones de ineficacia. A lo largo del tiempo, el trabajo con cargas de aproximadamente el 70% del 1RM se ha considerado como el mínimo necesario para la estimulación de hipertrofia y ganancia muscular. No obstante, estudios recientes han demostrado cómo entrenamientos de baja carga llevados a cabo hasta el fallo muscular pueden estimular niveles de hipertrofia comparables en magnitud a las observadas en trabajos con alta carga si son mantenidos en el tiempo. En este sentido, el empleo del entrenamiento oclusivo o terapia por restricción de flujo sanguíneo ha evidenciado efectos positivos altamente significativos en términos de hipertrofia muscular, utilizando cargas relativamente bajas, situadas en torno al 30% del 1RM. A su vez, también se han constatado cambios en componentes vasculares y pulmonares tras llevar a cabo esta técnica de intervención, en conjunto con un trabajo de ejercicio aeróbico.

En este artículo se lleva a cabo un acercamiento a los principales fundamentos y puntos clave relacionados con la terapia por restricción de flujo, desde una descripción de los aspectos importantes en cuanto a sus antecedentes históricos, materiales empleados, fisiología y mecanismos de actuación, hasta las indicaciones y contraindicaciones de la terapia, modos de aplicación y evidencia previa relacionada, siempre desde un punto de vista fisioterápico clínico.

1. CONCEPTO Y ORIGEN DE BLOOD FLOW RESTRICTION

En este tema se tratará el concepto de la técnica de Blood Flow Restriction y la historia que ha acompañado a esta terapia desde las primeras experimentaciones en el Japón de los años 60. ¿Qué es BFR, en qué consiste, cómo surgió y cómo ha avanzado? Estas son las cuestiones que se exponen a continuación.

Concepto

El *Blood Flow Restriction* (BFR), entrenamiento oclusivo o terapia de restricción de flujo sanguíneo, constituye una herramienta novedosa en fisioterapia. Consiste en un método de entrenamiento que ocluye parcialmente el flujo arterial y restringe de manera total el flujo de sangre venosa. La técnica consiste en el uso de un sistema de manguitos neumáticos que aplican una presión externa y se sitúan en la parte más proximal de los miembros, tanto superior como inferior. Cuando se inflan los manguitos hay una compresión mecánica gradual de los vasos por debajo del manguito, resultando en una oclusión parcial del flujo arterial a las estructuras distales al manguito. Por el contrario, su efecto sobre las venas es mucho mayor, pues restringe totalmente el flujo. Es una técnica en auge y con cada vez mayor grado de evidencia en relación a sus aplicaciones y beneficios¹.

Historia

La idea del BFR surge en 1966 en Japón cuando Yoshiaki Sato, un estudiante y practicante de culturismo, durante una antigua costumbre japonesa, una ceremonia budista, se mantuvo en la posición llamada "seiza" que implicaba estar con la espalda erguida y las piernas flexionadas con los talones de los pies tocando los glúteos. Comenzó a sentir como se le entumecían las piernas debido a la compresión generada por la posición estática^{1,2}. Mantuvo esta posición durante 40 minutos, pero al no poder soportarlo más, tuvo que levantarse a estirar y masajearse el gemelo, percibiendo en ese mismo momento un alto grado de tensión. Estas molestias y la tirantez muscular le recordaron a la sensación descrita al realizar ejercicios de elevar el talón con peso en los hombros hasta alcanzar la fatiga. En ese momento teorizó que la ganancia de masa muscular se podía deber a esa sensación de compresión o entumecimiento, relacionada con la falta de flujo sanguíneo. Comenzó a experimentar con su cuerpo y con la restricción de flujo a través de torniquetes que iba creando, usando distintos materiales para realizar la compresión. Fue un trabajo metódico, pues continuamente recogía datos sobre las presiones que usaba, el tipo de bandas y sus tamaños y las sensaciones que percibía. A partir de aquí creó el "método Kaatsu" que significa presión añadida¹.

En 1967, un año después del comienzo de su experimentación, sufrió una embolia pulmonar. Este accidente ocurrió mientras experimentaba con las presiones necesarias para sentir la sensación de fatiga muscular. A pesar de este accidente, siguió investigando^{1,3}. En 1973 se fracturó el tobillo y distintos ligamentos de la rodilla, y tras ser atendido y enyesado en el hospital, comenzó su auto rehabilitación aplicando presión con unas bandas elásticas mientras hacía ejercicios isométricos. La presión la mantenía 30 segundos y la

retiraba durante cortos períodos, repitiendo la secuencia varias veces, ejecutando el protocolo 3 veces al día. Esta fue la primera intervención de entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo para prevenir la atrofia muscular tras una lesión. Los resultados fueron muy buenos, ya que no solo disminuyó la atrofia muscular, sino que incrementó la velocidad de cicatrización ósea³.

En 1983, tras años de investigación se comenzó a usar en el público en general, comenzando los primeros trabajos con personas de edad avanzada con problemas de osteoporosis y pérdida de masa muscular, aspectos muy comunes en este tipo de población. Comenzó a diseñar los manguitos neumáticos, más comunes a día de hoy, sustituyendo a los tradicionales³.

1995 fue un gran año para Sato y su técnica Kaatsu debido a que Mr. Tamari, el presidente de la federación japonesa de culturismo, le presentó al creador a un profesor de fisiología de la universidad de Tokio. Sato trató de explicarle todas sus teorías y experimentos con la restricción de flujo y, aunque al principio era escéptico y estaba convencido de que aquello no podía resultar efectivo, en cuanto probó a entrenar con la restricción de flujo sanguíneo y detectó la sensación que tanto se asemejaba a un entrenamiento fatigante de alta carga, se convenció de que Sato tenía razón^{3,4}.

En 1997 sus primeros resultados en artículos científicos sobre la hipertrofia y la ganancia de fuerza le hicieron famoso en el mundo de la actividad física, consiguiendo patentar el método de tratamiento. Desarrolló su propio equipamiento y formación, que sigue impartándose a día de hoy a lo largo de diferentes partes del mundo^{2,4}.

En 2005 Johnny Owens empezó a usar de manera asidua esta técnica en su clínica con militares estadounidenses. Utilizaba la terapia buscando un aumento de fuerza e hipertrofia muscular en los miembros de los militares que habían sufrido una pérdida sustancial y no podían mover con grandes pesos. En 2012 comenzó a implementarlo en la población general, obteniendo unos resultados similarmente esperanzadores. Estos hallazgos de Owens supusieron un gran impulso para la expansión de la técnica⁴.

Actualmente, esta intervención se ha extendido a nivel mundial, tanto a nivel clínico como desde un punto de vista del rendimiento deportivo. En 2018 fue reconocida por la APTA (Asociación Americana de Fisioterapia) como parte de la práctica profesional del fisioterapeuta⁵.

2. TIPOLOGÍA Y MATERIALES

En este capítulo se desarrollarán las distintas características que pueden componer los manguitos de oclusión y los distintos tipos de manguitos que existen en el mercado, desde los más básicos a los más complejos.

Características

En cuanto a las características de los manguitos y la oclusión sanguínea deben destacarse distintas consideraciones. Un punto importante lo constituye el material, ya que no actúa de la misma forma un material no elástico que



Figura 1. Material en blood flow restriction. (Elaboración propia).

uno que sí lo es⁶. Por otro lado, está la anchura del manguito, ya que, a mayor anchura, menor será la presión necesaria para restringir el flujo sanguíneo. Lo contrario ocurre con el diámetro del miembro, ya que, a mayor diámetro, mayor es la presión necesaria para ocluir el riego. Por último, se debe considerar la forma del manguito puesto que, con un manguito de forma cónica, la presión necesaria para llevar a cabo la oclusión es menor que en aquellos manguitos que son rectos⁶. En la Tabla 1 se resumen los distintos factores que pueden afectar a la presión necesaria para ocluir el flujo sanguíneo.

Tabla 1. Factores en oclusión de flujo sanguíneo.

| Factores que afectan a la presión de oclusión | Presión necesaria para ocluir el flujo |
|---|--|
| Mayor diámetro del miembro | Mayor |
| Menor diámetro del miembro | Menor |
| Mayor anchura del manguito | Menor |
| Menor anchura del manguito | Mayor |
| Forma cónica del manguito | Menor |
| Forma recta del manguito | Mayor |

Tipos

Hay diferentes tipos de manguitos de oclusión, aunque todos tienen la misma función, restringir el riego sanguíneo. A continuación, se dividirán en 3 tipos.

Gama baja

En la gama baja se encuentran los más básicos, los más comunes de detectar a día de hoy en gimnasios. Son aquellos en los que la presión no se puede medir ni individualizar, utilizándose la misma de manera subjetiva. Pueden estar

compuestos por distintos materiales y ser elásticos o no. Son los más baratos, significativamente^{6,7}.

Gama media

En el nivel intermedio se describen los manguitos neumáticos, que son los más usados en las clínicas fisioterápicas. Estos manguitos están conectados con un esfigmomanómetro, con el que se puede inflar y desinflar el aparato y controlar e individualizar la presión. Tienen un precio medio^{6,8}.

Gama alta

En la gama alta se ubican los manguitos más completos, aunque también los más caros. Estos manguitos se conectan a un aparato que cuantifica la presión no solo al inicio, sino también durante la realización del ejercicio, por lo que el control sobre la misma es total. No son muy empleados en clínicas por su alto precio y están más orientados a la investigación y el deporte de élite^{6,9}. En la Tabla 2 se presentan las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de manguitos.

Tabla 2. Ventajas e inconvenientes en tipología de BFR.

| | Ventajas | Inconvenientes |
|------------|---|--|
| Gama baja | <ul style="list-style-type: none"> Bajo precio Fácil uso | <ul style="list-style-type: none"> No se puede individualizar ni medir la presión |
| Gama media | <ul style="list-style-type: none"> Se puede individualizar y medir la presión Práctico en clínica | |
| Gama alta | <ul style="list-style-type: none"> Medición, seguimiento e individualización de la presión | <ul style="list-style-type: none"> Alto precio Enfocado a la investigación Poco práctico en clínica |

3. FISIOLÓGÍA EN RESTRICCIÓN DE FLUJO

Este capítulo versará en primer lugar sobre las bases fisiológicas del entrenamiento de fuerza e hipertrofia, para así después poder comparar estas características tras el uso de esta técnica. A continuación, se detallarán los aspectos fisiológicos del empleo de BFR en fisioterapia y se llevará a cabo una exposición de las hormonas que juegan un papel fundamental en el empleo de esta técnica. Por último, se describirán los efectos del uso de esta técnica en diferentes aspectos como el dolor o la remodelación tisular.

Hipertrofia

En primer lugar, hay que destacar la idea de que, aunque hipertrofia y fuerza no son lo mismo, sí que guardan una estrecha relación. Esto es así puesto que una mayor sección transversal de un músculo está directamente relacionada con la fuerza que éste es capaz de ejercer¹⁰.

La hipertrofia muscular es el aumento en el tamaño de un músculo, o su área de sección transversal atribuida a un aumento en el tamaño o número de miofibrillas. La hipertrofia muscular se produce tanto en las fibras musculares de tipo I como en las de tipo II, constatándose este incremento mayoritariamente en estas últimas¹¹.

Existen distintos factores que influyen en la producción de hipertrofia, desarrollados a continuación:

Mecanotransducción

Los mecanosensores anexos al sarcolema de la fibra, como son las integrinas, convierten la energía mecánica en señales químicas, modificando la síntesis de proteína a través de las vías intracelulares aeróbicas y anaeróbicas¹².

Incremento en la producción de hormonas

El estrés mecánico y el daño muscular hace que se incremente la producción de hormonas, no solo a nivel local sino también a nivel sistémico. La presencia de MGF ayuda al proceso de síntesis proteica y también a la activación de mTORC1. Además, existe un incremento en la hormona del crecimiento. Estas hormonas promueven el anabolismo del crecimiento celular¹³.

Daño muscular

El daño muscular inducido por ejercicio es un regulador esencial del crecimiento muscular, mediado por las células satélite. La degradación de células musculares promueve la creación de nuevas células.

El balance neto de proteínas es la diferencia entre la síntesis de proteínas y la degradación de las mismas. El objetivo principal del entrenamiento de fuerza es lograr que la síntesis sea mayor que la degradación, con el objetivo de aumentar la masa muscular. El daño muscular durante el entrenamiento con alta carga es alto, y ello es necesario mayores tiempos de descanso y un aumento en la ingesta de proteínas¹⁴.

Producción de especies reactivas de oxígeno

El estrés mecánico tiene un papel fundamental en la generación de estas especies reactivas de oxígeno. Este mecanismo involucra la activación de la enzima de NO₂ en el músculo esquelético y la liberación de óxido nítrico en el torrente sanguíneo. Este proceso es muy importante en el anabolismo celular post ejercicio¹⁵.

Reclutamiento de fibras tipo II

Las fibras tipo II son aquellas fibras denominadas "fibras rápidas". Son las encargadas de generar fuerza e hipertrofia y se reclutan con intensidades altas, cuando se trabaja a partir del 60% del 1RM. La activación de estas se relaciona también con la acumulación de lactato a nivel muscular, que inhibe la producción de fuerza de las unidades motoras que están interviniendo, lo que promueve un mayor reclutamiento de unidades motoras más grandes, como pueden ser las fibras tipo II, en orden de seguir generando fuerza¹⁶.

Hinchazón celular

La hinchazón celular o el incremento de volumen celular puede incrementar la síntesis de proteínas. Este aumento se da con entrenamientos de alta intensidad, en situaciones de congestión muscular donde existe una falta de oxígeno^{16,17}. La Tabla 3 resume las diferentes características que debe tener un entrenamiento enfocado a la hipertrofia muscular.

Tabla 3. Características de entrenamiento BFR.

| Necesidades del entrenamiento enfocado a hipertrofia muscular | |
|---|----------------------|
| Intensidad | 65-85% RM |
| Repeticiones | 6-12 |
| Series por grupo muscular | 12-20 semanales |
| Descanso entre series | 1-2 minutos |
| Frecuencia por grupo muscular | 2-3 veces por semana |

Por otro lado, existe la fuerza. Como se ha descrito anteriormente, existe una relación entre fuerza e hipertrofia muscular, sin llegar a constituir un mismo concepto. Generalmente, la fuerza se ha definido como la capacidad de un músculo de generar tensión. Esta definición es muy genérica, puesto que un músculo se hace fuerte en el rango y movimiento en el que se entrena. Este hecho se plasma en una gran variedad de deportes y puede ser una de las explicaciones a diversas lesiones, entre las que se destacan de forma principal las musculares¹⁸.

Un ejemplo son las lesiones en la musculatura isquiosural en futbolistas, que suelen aparecer con una acción muscular en carrera externa, donde la cadera se encuentra en flexión y la rodilla en extensión. Uno de los errores que se comete en la rehabilitación es el de entrenar solo en carrera interna, donde el músculo ya es fuerte, y no donde más débil es y por donde existe una mayor probabilidad de rotura. Además, los test que se ejecutan para determinar si el futbolista ya puede volver a jugar no simulan el gesto lesional ni testan la fuerza muscular en el patrón más

Tabla 4. Especificaciones en terapia de restricción de flujo.

| Necesidades del entrenamiento enfocado a la generación de fuerza | |
|--|---|
| Intensidad | >85% RM |
| Repeticiones | 1-6 |
| Series por grupo muscular | 30-60 semanales en grupos musculares pequeños y 60-120 en grupos musculares grandes |
| Descanso entre series | ≥ 2 minutos |
| Frecuencia por grupo muscular | 2-3 veces por semana |

débil. Un músculo puede ser muy fuerte y generar mucha tensión en una posición, y a la vez no ser capaz de realizar tensión en otra, constatándose su debilidad¹⁹.

En lo que al entrenamiento de fuerza se refiere, las bases fisiológicas son similares y aplicables a las descritas en el caso de la hipertrofia. Puesto que las mismas se han sido descrito anteriormente, en la Tabla 4 se detallan las características necesarias de un entrenamiento para la ganancia de fuerza, con características comunes al programa de generación de hipertrofia muscular²⁰.

Bases fisiológicas del entrenamiento con BFR

El uso de BFR crea un entorno hipóxico y anaeróbico, restringiendo el suministro de oxígeno a los músculos, disminuyendo el flujo sanguíneo y produciendo un aumento del ácido láctico. La falta de oxígeno hace que el cuerpo estimule fibras musculares que solo se reclutan en ejercicios muy fatigantes para el cuerpo. Esas fibras musculares son las fibras tipo II, que poseen una mayor capacidad de hipertrofiar, y son las llamadas fibras blancas fruto a un menor número de mitocondrias y vasos sanguíneos en comparación con las fibras tipo I o rojas²¹. El estrés mecánico al que se someten las fibras musculares durante el entrenamiento, desencadena una cascada que conlleva a la hipertrofia muscular, y como consecuencia, a la ganancia de fuerza.

El primer paso de esta cascada es la acumulación de metabolitos, sobre todo de protones, debido a un aumento en la producción de estos y una disminución en su aclaramiento debido a la presión de los manguitos en los vasos sanguíneos, que no permiten el flujo venoso. Esta acumulación de metabolitos lleva a que exista una mayor cantidad de líquido entre las células, por lo que estas incrementan su volumen. Esto es la hinchazón celular que anteriormente se ha descrito como uno de los factores que afectan a la hipertrofia^{16,17,22,23}.

Como consecuencia, se constata un incremento en las vías de señalización anti catabólicas y anabólicas mientras que se activan y proliferan las células satélite. Todos estos procesos acaban desembocando en el fenómeno de hipertrofia muscular²². El interés en el empleo de BFR es que esta cascada de reacción también ocurre cuando no existe contracción muscular, por lo que podría ser de gran importancia en aquellos pacientes que necesitan aumentar su masa muscular y no son capaces de llevar a cabo una contracción activa, ya sea por dolor o por falta de fuerza considerable²³.

La acumulación de metabolitos, que constituye la primera fase de la cascada anteriormente descrita, induce a un mayor reclutamiento de unidades motoras, hecho que también favorece el aumento de las vías de señalización^{23,24}. La isquemia hace que se produzca un aumento a nivel sistémico de los niveles de IGF1 y GH. Estas hormonas también incrementan las vías de señalización, de aquellas que fomentan el crecimiento muscular e inhiben aquellas que no permiten el incremento de masa muscular. Además, hay un también un mayor número local de MGF, que conlleva a su vez la activación y proliferación de las células satélite musculares²⁵.

La cascada de la hipertrofia se expone en la Tabla 5^{25,26}.

Tabla 5. Efectos fisiológicos en restricción de flujo.

| Efectos fisiológicos del uso de BFR |
|---|
| Hipoxia e isquemia |
| Aumento de ácido láctico |
| Aumento de GH |
| Aumento de IGF1 |
| Aumento en el reclutamiento de fibras tipo II |
| Disminución de los niveles de miostatina |
| Hipertrofia muscular |
| Aumento de la fuerza muscular |

Hormonas

Existen diferentes hormonas que juegan un papel fundamental en la hipertrofia a través del BFR, entre las que cabe destacar:

IGF1

El factor de crecimiento insulinoide o IGF1 es una hormona polipeptídica segregada en múltiples tejidos por efecto de la hormona de crecimiento. Es responsable de parte de las acciones de la GH y además tiene efecto hipoglucemiante y anabolizante. Promueve el crecimiento y desarrollo normal de tejidos y huesos. En personas de avanzada edad existe una disminución de la secreción de esta hormona y su pico es alcanzado en la juventud²⁷.

GH

La hormona de crecimiento (GH) o somatotropina aumenta la capacidad de ejecutar ejercicio, la cantidad de masa muscular, el nivel de densidad ósea y disminuye el porcentaje de grasa. Se produce en la glándula pituitaria y, aunque el pico de esta hormona se encuentra en la juventud durante el crecimiento, la segregación de esta puede verse aumentada por el ejercicio físico²⁸.

MGF

Factor de crecimiento mecánico, de gran importancia en la hipertrofia muscular y en el anabolismo muscular²⁶.

Células satélite musculares

Son células indiferenciadas y con la capacidad de definirse dependiendo de las necesidades individuales. Se encuentran ubicadas en la periferia de la fibra muscular periférica²⁷.

Miostatina

La miostatina es una proteína familia del factor de crecimiento de transformación. Es muy importante en el control del crecimiento muscular. Se expresa casi exclusivamente en el músculo esquelético y su principal acción es la de inhibir el desarrollo muscular²⁸.

mTORC1

Es un sensor de nutrientes aportados al organismo, controla el balance de energía y también la síntesis de proteínas. Está íntimamente relacionado con la ganancia de masa muscular²⁹.

Hipertrofia y fuerza con BFR

Existen diferentes aspectos que pueden afectar al nivel de hipertrofia muscular, pero en el que más podemos intervenir a través del BFR es en el estrés metabólico. Esto es debido al ambiente hipóxico al que sometemos el miembro y a la acumulación de metabolitos. Este concepto, combinado con el resto de aspectos puede asimilar la ganancia de hipertrofia al entrenamiento con altas cargas, siendo las empleadas con BFR mucho menores³⁰. Es por ello que resulta muy interesante la utilización de la terapia de restricción de flujo en personas que no son capaces de realizar entrenamiento de fuerza con altas cargas, pues con bajas cargas y BFR obtenemos niveles de ganancia de fuerza similares a los del entrenamiento de alta carga^{30,31}.

A continuación, se describen las diferencias, similitudes y características principales de los entrenamientos de alta carga, baja carga y BFR con baja carga³².



Figura 2. Aplicación en tercio proximal de MI. (Elaboración propia).

Entrenamiento alta carga

El entrenamiento de alta carga o alta intensidad, también llamado HIIT (High Interval Intensity Training) es aquel en el que se trabaja a una intensidad de entre el 70 y 90% del 1RM. Además, existe daño muscular por lo que la presencia de dolor muscular post-esfuerzo a posteriori es mayoritariamente frecuente. Existe una producción de lactato, y se constata un reclutamiento adicional de fibras tipo II cuando se aproxima al esfuerzo máximo. A nivel hormonal, existe un incremento de alrededor de cien veces de hormona del crecimiento si lo comparamos con los niveles basales, aumentándose el IGF1 y el mTORC1, mientras que se constata

una disminución de las Miostatinas³³. En cuanto al periodo de adaptación, se encuentra en torno a los 3 meses.

Entrenamiento baja carga

Entrenamiento de baja carga es aquel que se realiza con un 20-35% del 1RM. En este tipo de trabajo, el daño muscular no es significativo, por lo que no es común la presencia de agujetas. No existe producción de lactato y no hay un reclutamiento adicional de fibras musculares, contrario a lo ocurrido en el entrenamiento de alta carga. A nivel hormonal, no existen cambios significativos en la hormona del crecimiento, la IGF1, la mTORC1 y la Miostatina³⁴. No existe periodo de adaptación en relación con este entrenamiento, debido al nivel tan bajo de estrés que supone para el cuerpo.

Entrenamiento BFR con baja carga

Este entrenamiento se realiza con cargas del 20-35% del 1RM, tal y como ocurre con el entrenamiento de baja carga, pero en este caso en combinación con la aplicación del BFR. De forma similar al entrenamiento de baja carga, este tipo de trabajo tampoco provoca un daño muscular significativo, al contrario de lo que se describe con el entrenamiento de alta carga. La producción de lactato es similar a la generada con el entrenamiento de alta intensidad y, tal y como ocurre en ese tipo de entrenamiento, existe un reclutamiento adicional de fibras tipo II cuando se trabaja cerca del esfuerzo submáximo. A nivel hormonal, existe una producción de hormona del crecimiento cerca de dos veces mayor a la que se constata en el entrenamiento de alta carga, así como un aumento significativo de la producción de IGF1 y mTORC1, sumado a una disminución de los niveles de Miostatina^{33,35}. En cuanto al periodo de adaptación, se encuentra en torno a las 2 semanas, siendo este periodo muchísimo menor al del entrenamiento de alta intensidad.

A modo de resumen, y comparando los 3 entrenamientos, se pueden extraer las siguientes conclusiones en cuanto al uso de BFR³²⁻³⁵:

- Produce niveles de lactato y reclutamientos de fibras tipo II similares a los del entrenamiento de alta carga.
- Produce casi dos veces más hormona del crecimiento que el ejercicio de alta carga, y casi 200 veces más que el ejercicio de baja carga aislado.
- Tiene los mismos efectos que el entrenamiento de alta carga en cuanto a niveles de IGF1, mTORC1 y Miostatina.
- El periodo de adaptación es 6 veces menor al del entrenamiento de alta carga.

Remodelación del tejido

Como se ha descrito anteriormente, el uso de BFR produce un incremento en la hormona del crecimiento y en distintas hormonas capaces de remodelar el tejido. El aumento de la hormona del crecimiento y de IGF1 está íntimamente relacionado con la curación tendinosa y la síntesis de colágeno. Este hecho constituye una vía al uso de

BFR en distintas patologías como pueden ser las tendinopatías, donde existe un daño estructural con una degradación del colágeno del tendón. En patología tendinosa puede ser interesante, sobre todo en niveles iniciales donde no se puede trabajar con una carga alta por la existencia de dolor, pero no puede ser el centro de la recuperación puesto que en este tipo de tejido parece tener un mejor efecto el uso de altas cargas³⁶.

Teniendo en cuenta la producción de hormonas que el uso de BFR conlleva y sus potenciales efectos, cabe pensar que esta técnica puede jugar un papel fundamental en la curación de distintos tejidos corporales, tanto en la calidad de la misma como en su rapidez. Esto a su vez se constituye como una gran arma terapéutica, tanto con población general como con deportistas de alto rendimiento, donde podrían disminuirse plazos, siempre una gran noticia y en muchas ocasiones, una necesidad^{36,37}.

Actividad sanguínea y vascular

El entrenamiento con BFR estimula y mejora la circulación endotelial periférica. Esto es así debido a la producción del factor de crecimiento vascular endotelial que, junto a la hipoxia, aumenta la angiogénesis. Esto significa que, potencialmente, podría acelerar la curación de heridas. Los efectos anteriormente descritos sobre la actividad sanguínea son de vital importancia, como es el caso de su empleo en la fase postoperatoria. Si esta técnica es capaz de acelerar la curación de las heridas tras la operación, significa que el paciente volverá a recuperar su vida normal mucho antes y será mucho más funcional, disminuyendo el coste económico que acarreará para las entidades públicas. Por otro lado, si la terapia se extrapola al campo del alto rendimiento, un atleta podría acortar tiempos de recuperación y volver antes a su nivel y práctica deportiva habitual. En este sentido, los tiempos de vuelta al terreno de juego pueden suponer enormes cuantías económicas³⁸.



Figura 3. Restricción y sistema venoso. (Elaboración propia).

Dolor

El dolor es uno de los temas más complejos de abordar en la actualidad. Esto es así puesto que la fisioterapia ha ido avanzando desde un modelo biomédico a un modelo biopsicosocial. Este cambio de paradigma ha tenido una fuerte repercusión en el dolor, pues antes se creía que el mismo siempre estaba producido por un daño en un tejido, y con el tiempo y el avance de la ciencia se ha demostrado que esto no siempre es así. El dolor cuando se aborda desde un modelo biopsicosocial, muestra una mayor complejidad puesto que existen muchos factores que pueden influir en él, y aunque el daño en el tejido es uno de ellos, no es ni el único ni el más importante^{38,39}. Se debe recordar que el dolor es una respuesta que emite el cerebro en base a las interpretaciones que hace sobre distintas situaciones, es decir, no es información que llega al cerebro, sino que sale de él. Esto explica situaciones tan dispares como que exista gente con dolor y ningún daño en el tejido y gente con daño en el tejido y sin dolor alguno. Incluso si el sistema nervioso interpreta una señal como potencialmente dañina, puede producir dolor, aunque esta señal no sea realmente producto de daño tisular.

Es de lejos conocida la relación que existe entre el ejercicio físico y el dolor. Con ejercicio físico bien pautado y administrado en las dosis correctas, se puede disminuir el dolor percibido por los pacientes, y no solo eso, sino que el ejercicio físico es el tratamiento de elección en patologías crónicas donde el dolor juega un papel muy importante, tales como la lumbalgia o la fibromialgia. En ambos casos, el ejercicio físico se acompaña de educación al paciente para que se empodere en su patología, la fisiología del dolor y cómo este tratamiento puede serle de ayuda⁴⁰.

Pero la pregunta es la siguiente: ¿el uso de BFR reduce el dolor? Como se ha destacado anteriormente, el dolor es multifactorial y esta es una afirmación muy difícil de desarrollar, aunque según la evidencia actual sí que parece existir una relación. Existe evidencia de que el ejercicio de baja carga combinado con BFR a una presión del 80% de la necesaria para ocluir el flujo sanguíneo, tiene un efecto positivo en cuanto a la reducción del dolor en el miembro que había sido ocluido hasta 24 horas después de la finalización del ejercicio. La reducción en el dolor tras el empleo de esta técnica es en parte debida a la producción de beta endorfinas, un opioide endógeno⁴¹.

Tabla 6. Acciones objetivo en la aplicación de entrenamiento oclusivo.

| | Efectos del uso del BFR + baja carga |
|--------------------------------|--|
| Hipertrofia y fuerza | Aumento de: lactato, reclutamiento de fibras tipo II y fuerza |
| Hormonas | Aumento de: IGF1, GH, MTORC1 Disminución de: miostatinas |
| Actividad sanguínea y vascular | Aumento de: factor de crecimiento vascular endotelial y angiogénesis |
| Dolor | Aumento de: opioides endógenos |

La evidencia actual parece indicar que la utilización de BFR con una presión del 80% es capaz de reducir la intensidad del dolor durante al menos 24 horas. Esta técnica es un potencialmente efectiva en la reducción del dolor y todas las patologías musculoesqueléticas donde el dolor supone un gran problema. Esto es solo el principio en cuanto al uso de BFR para reducir el dolor ya que la evidencia es limitada por la novedad del tema, pero parece tener un futuro prometedor⁴².

En la Tabla 6 se resumen los principales efectos fisiológicos del BFR sobre diferentes hormonas, ganancia de masa muscular, actividad sanguínea y vascular y dolor.

4. INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

La terapia por restricción de flujo sanguíneo puede generar cierto grado de inquietud debido al empleo del término "oclusión sanguínea". Sin embargo, si llevamos a cabo las indicaciones, la intervención puede desarrollarse de una manera adecuada, correcta y segura, sin poner en peligro la integridad física del paciente o deportista. El tratamiento mediante restricción de flujo sanguíneo, llevado a cabo por fisioterapeutas, profesionales con aptitudes referentes a anatomía, patología y rehabilitación, podrá resultar una terapia efectiva en orden de obtener beneficios en las diferentes aplicaciones a plantear⁴³.

Indicaciones

Este abordaje se posiciona como una perfecta alternativa al entrenamiento tradicional y una herramienta valiosa, debido a la consecución de resultados similares a los producidos por un entrenamiento convencional, sometiendo en este caso al paciente o deportista a unas cargas muy inferiores que podrían acarrear un menor número de lesiones, con un mayor aumento de masa muscular. Se trata por ello de una intervención capaz de permitir al profesional comenzar la rehabilitación de forma más rápida y eficaz, evitando complicaciones posteriores a la cirugía por inmovilización y pérdida de masa muscular por inactividad^{43,44}. En estudios previos relacionados con el entrenamiento oclusivo, se detectaron lesiones producidas por la oclusión severa, descritas junto a sus frecuencias de aparición en la Tabla 7.

Tabla 7. Complicaciones y eventos adversos en terapia de restricción de flujo.

| | |
|------------------------------------|--------|
| Intensidad | 13,1% |
| Entumecimiento | 1,297% |
| Anemia cerebral | 0,277% |
| Sensación de enfriamiento | 0,127% |
| Trombo venoso | 0,055% |
| Dolor | 0,04% |
| Picor | 0,024% |
| Enfermedad isquémica cardíaca | 0,016% |
| Sensación de mareo | 0,016% |
| Incremento de la presión sanguínea | 0,016% |

En este sentido, las principales *indicaciones* del entrenamiento mediante BFR son^{43,45}:

- Dolor articular crónico
- Tendinopatías
- Rotura del tendón de Aquiles
- Lesiones ligamentosas, cartilaginosas, articulares o meniscales
- Fracturas óseas
- Lesiones en ligamentos cruzados
- Artritis reumatoide
- Síndrome de dolor patelofemoral

Otro de los parámetros más importantes a tener en cuenta en la aplicación es la seguridad y viabilidad en su puesta en escena, así como las posibles complicaciones resultantes en el caso de un tratamiento desaconsejado, tales como trombosis venosa profunda, rhabdomiolisis, necrosis tisular, compresión nerviosa periférica o dolor secundario a restricción de flujo sanguíneo⁴⁶.



Figura 4. Aplicación en cicatrices. (Elaboración propia).

Contraindicaciones

Con el fin de llevar a cabo una óptima sesión de entrenamiento mediante terapia por restricción de flujo, se describen a continuación una serie de contraindicaciones absolutas⁴⁷:

- Lupus eritematoso sistémico
- Hemofilia
- Hipertensión no regulada

- Antecedentes de tromboembolismo pulmonar
- Antecedentes de accidente cerebrovascular

También son constatables determinadas contraindicaciones relativas, entre las que destacan^{47,48}:

- Trastornos de alteración de la coagulación sanguínea
- Tabaquismo
- Fármacos anticonceptivos
- Lesiones radicales espinales
- Antecedentes de síndrome compartimental
- Antecedentes de sinovitis
- Cirugías previas relacionadas con el sistema circulatorio

5. DIANA TERAPÉUTICA EN RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO

En la actualidad existen multitud de patologías presentes en la clínica desde el punto de vista fisioterápico, así como un gran abanico de pacientes que acuden a consulta con deficiencias y limitaciones de diversa índole. Es por ello primordial poder identificar los individuos que sean capaces de servirse de la actual terapia, así como las condiciones y características de la aplicación de la intervención mediante entrenamiento oclusivo en cada uno de ellos. Un aspecto a considerar lo constituye la longitud del miembro, pues a mayor longitud es requerida una mayor presión oclusiva, al igual que individuos con menor longitud precisan una presión inferior. A su vez, en miembro superior, en presiones arteriales que de base sean más altas, también requerirán de una mayor presión oclusiva para restringir el flujo. No obstante, la presión determinada en la arteria braquial no debería ser extrapolada en términos de aplicación sobre miembro inferior, pues las extremidades cuentan con diferentes longitudes y perímetros y la presión necesaria en ningún caso debería predeterminarse en base a las mediciones de otra estructura corporal⁴⁹.

Su empleo en la población general deberá estar sujeto al examen y análisis de diversas condiciones clínicas, sin embargo, sus aplicaciones son múltiples en términos de mejora de diversas variables. Una de las dianas terapéuticas principales lo constituye la aplicación postoperatoria, en especial en condiciones de atrofia y pérdida de fuerza que aparecen tras el desarrollo de la cirugía y el tiempo de reposo. Esta pérdida de masa muscular suele decrecer tras el transcurso de la rehabilitación, y puede persistir durante meses después de la intervención quirúrgica. Esta atrofia muscular es mayor del 20% del total del tejido muscular en un 65% de los pacientes operados de ligamento cruzado anterior, pero también es constatable como en clínicas de reparación de estructuras cartilaginosas o tendinosas, donde el riesgo de aparición e impacto de la atrofia puede llegar a superar las cifras anteriormente comentadas. Por ello su prevención y/o tratamiento se ha convertido en un objetivo fundamental, puesto que determinados estudios que combinaron restricción de flujo sanguíneo, electroestimulación neuromuscular y ejercicio de resistencia de baja

intensidad reportaron beneficios estadísticamente significativos en atrofia postoperatoria⁵⁰.

Existe también evidencia y recomendaciones acerca de la aplicación de terapia oclusiva en patología no relacionada con la intervención quirúrgica. Un ejemplo es el dolor patelofemoral, una de las deficiencias más comunes en individuos activos, afectando principalmente a sujetos comprendidos entre los 15 y 35 años de edad y asociándose más significativamente en mujeres⁴⁹. Teniendo en cuenta que el signo más prevalente es el dolor en la cara anterior de la rodilla tras la aplicación de carga sobre la articulación patelofemoral, el fortalecimiento del cuádriceps constituye un punto importante de cara a la rehabilitación y la reducción de la gonalgia. Sin embargo, es un reto desde el punto de vista clínico la prescripción de ejercicio de fortalecimiento muscular cuádriceps sin el agravamiento de los síntomas preexistentes, por lo que en este caso la inclusión del ejercicio mediante restricción del flujo puede resultar fundamental en la búsqueda de los objetivos predeterminados en este grupo de pacientes⁵¹. Deben considerarse dos etapas principales cuando se lleva a cabo la rehabilitación de pacientes con dolor patelofemoral: una primera fase de reducción del dolor inmediatamente después de la sesión de intervención para infundir confianza en la articulación; y una segunda fase de fortalecimiento de la musculatura extensora de rodilla sumado a una reducción del dolor de aspecto crónico. Se han detectado beneficios empleando ejercicios de resistencia de baja intensidad (30% del 1RM) en combinación con restricción de flujo sanguíneo en la reducción del dolor en las actividades de la vida diaria en comparación con una intervención compuesta principalmente por ejercicios de resistencia de intensidad alta (70% RM). Por



Figura 5. Fuerza excéntrica mediante BFR. (Elaboración propia).



Figura 6. *Musculatura posterior en oclusión. (Elaboración propia).*

otra parte, los sujetos que percibían dolor tras ejecutar una extensión de rodilla, exhibieron mayores ganancias en la fuerza de la musculatura cuádriceps en el grupo de entrenamiento oclusivo en comparación con el grupo de tratamiento convencional, no manteniéndose esta supremacía tras 6 meses de seguimiento⁵².

En patología de origen muscular también existen estudios previos que constatan la eficacia del entrenamiento mediante oclusión sanguínea en la consecución de objetivos funcionales. Las lesiones musculares son frecuentes en individuos que practican alguna disciplina deportiva, en especial las deficiencias en isquiotibiales, las cuales suponen más del 30% del total^{51,52}. Una de las técnicas mayormente empleadas en dicha rehabilitación lo constituye la ejecución de los ejercicios excéntricos del grupo muscular afectado.

Sin embargo, en estas condiciones es muy frecuente la incapacidad para desarrollar correctamente el ejercicio, asociándose cierta incidencia en cuanto a dolor muscular postesfuerzo, rigidez y reaparición de molestias, contexto en el que puede resultar interesante la introducción de la terapia de entrenamiento oclusivo⁵³. Es precisamente por su asociación con ausencia de daño en la estructura muscular, o su escasez de daño en combinación con ejercicios excéntricos (2 sobre 10 reportado en estudios previos atendiendo a la escala análoga visual), que podría resultar útil en la recuperación y readaptación de deportistas con patología de índole muscular. Sin embargo, en este sentido la evidencia parece no resultar excesivamente certera, constatándose un mayor aumento en el tamaño y fuerza musculares en intervenciones de restricción del flujo sanguíneo combinado con ejercicios concéntricos, en comparación con la misma técnica aplicada junto a una serie de ejercicios excéntricos⁵³. Esto podría explicarse por una mayor necesidad de carga en cuanto a intensidad en la ejecución de ejercicios excéntricos para producir los mismos efectos que los constatados con el ejercicio concéntrico. En definitiva, su aplicación puede resultar interesante en los casos en los que el individuo no sea capaz de ejecutar un ejercicio excéntrico en ausencia o escasez de dolor, y sea por ello preciso su desarrollo mediante restricción de flujo sanguíneo, proporcionándole una estrategia eficaz para la obtención de los beneficios de la rehabilitación con valores algícos inferiores a una intervención de características convencionales⁵⁴.

Haciendo hincapié en el campo de la rehabilitación, y también como aplicación a la población de edad avanzada, también es constatable el efecto positivo de la terapia mediante restricción de flujo sanguíneo en pacientes con déficits de fuerza y/o estabilidad. Los períodos de reposo en cama acompañados de inmovilización tras una enfermedad, cirugía o traumatismo, han evidenciado constituirse como factores de riesgo para el desarrollo de efectos nocivos sobre la masa muscular total, tanto en poblaciones jóvenes como ancianas⁵⁴. Es por ello un determinante clave la aplicación de entrenamiento oclusivo en

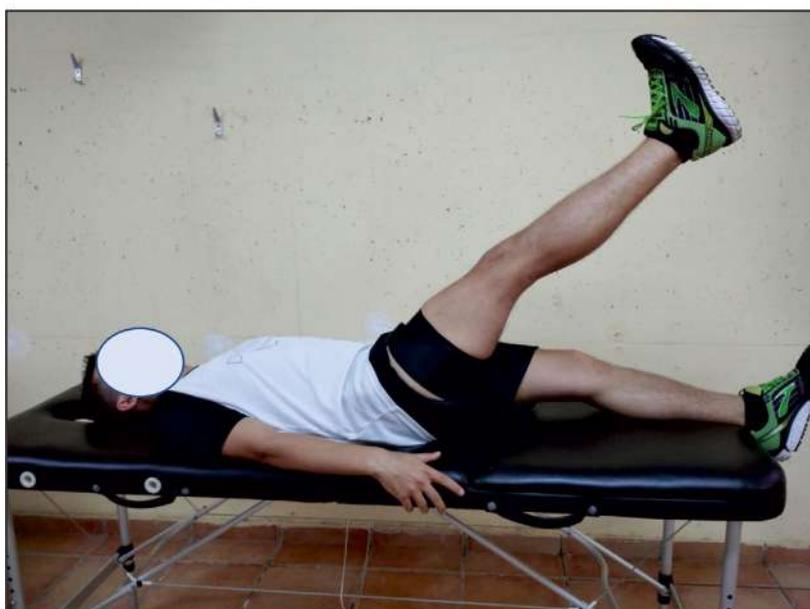


Figura 7. *Flexión isométrica de cadera en restricción de flujo. (Elaboración propia).*

orden de atenuar los mecanismos de la atrofia en términos de fuerza muscular. Es por ello que su empleo permite un inicio más temprano de la fase de rehabilitación funcional en el individuo, optimizando el proceso de recuperación desde un punto de vista más global⁵³⁻⁵⁵.

Otros objetivos de la terapia oclusiva pueden pasar por la combinación de la misma con ejercicios aeróbicos, tales como la deambulación, el ciclismo, la natación u otras actividades que impliquen un volumen de trabajo medio-alto, con intensidades bajas. Este hecho puede ser mucho más importante en las fases más tempranas de rehabilitación, cuando sólo es posible la ejecución de ejercicios con cargas externas muy bajas, o incluso cuando sólo es posible la ejecución de ejercicios aeróbicos de bajo impacto. Se han reportado ganancias significativas en términos de hipertrofia y pico de fuerza tras la aplicación de ejercicios de carácter aeróbico a frecuencias cardíacas de reserva relativamente altas (60-80%)⁵⁵. Por ello, podría ser interesante poder constatar estos beneficios mediante la aplicación de entrenamiento con restricción de flujo sumado a un programa de ejercicio aeróbico, a unas frecuencias cardíacas inferiores a las evidenciadas en la aplicación exclusiva de entrenamiento de bajo impacto. El empleo de BFR en ejercicio de baja carga puede reducir el estrés articular y ligamentoso en comparación con ejercicios de alta carga, promoviendo en mayor medida un incremento en la masa y fuerza musculares en sujetos incapaces de obtener estas respuestas fisiológicas con tratamientos de carácter convencional⁵⁶. No obstante, un detalle importante a tener en cuenta en este grupo de población es la prescripción de cargas de entrenamiento, pues individuos que sean únicamente capaces de manejar cargas relativamente bajas, serán por tanto incapaces de desarrollar test de 1RM con el objetivo de determinar la fuerza máxima y asistencia necesaria en prescripciones de carga. Existen modelos progresivos para la implementación de BFR en las fases tempranas de readaptación al entrenamiento de alta carga. Un ejemplo de programa podría constar de cuatro *fases*⁵⁷:

1. BFR en exclusiva durante los períodos de reposo en cama.
2. BFR combinado con ejercicios de deambulación de baja carga.
3. BFR combinado con ejercicios de resistencia con baja carga.
4. BFR en combinación con baja carga, sumado al ejercicio tradicional de resistencia de alta carga.

El programa se fundamenta en una serie de principios fisiológicos racionales, que pretenden incrementar de forma progresiva el estrés de entrenamiento conforme el participante va progresando. Su empleo se puede extrapolar a cualquier individuo que reúna las características necesarias, aunque el objetivo principal puede residir en pacientes postoperatorios y sujetos de edad avanzada⁵⁷.

En relación con la población diana susceptible de ser intervenida mediante terapia de entrenamiento oclusivo, cabe destacar los individuos en ausencia de patología y atletas, que tienen como objetivo la obtención y desarrollo de tamaño y fuerza muscular en conjunción con otras capacidades físicas específicas para su disciplina deportiva. El entre-

namiento que persigue la creación de adaptaciones suele demandar una gran cantidad de tiempo para el individuo, así como la aplicación de intensidades relativamente altas para constatar efectos significativos. Debido a las bajas cargas empleadas y a al limitado daño muscular acaecido tras la aplicación de BFR, este tipo de entrenamiento podría constituir una estrategia de intervención en orden de incrementar sus cargas de entrenamiento, produciendo estímulos fisiológicos para la adaptación muscular correcta, con el menor coste posible en términos de estrés, promoviendo un incremento en la duración de su vida deportiva. Numerosas investigaciones han reportado beneficios correspondientes a adaptaciones musculares en atletas tras el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo, obteniéndose mejoras específicas en fuerza máxima, potencia de salto dinámico, potencia y duración de sprint, desarrollo de agilidad y actividad aeróbica⁵⁶⁻⁵⁸.

Mientras que los incrementos en la fuerza máxima han sido reportados frecuentemente tras entrenamiento de baja intensidad en combinación con entrenamiento oclusivo, el porcentaje de incremento en el 1RM no es significativamente mayor que el efecto en el tamaño muscular. La fuerza por unidad muscular de los músculos entrenados mediante ejercicio de baja carga junto a terapia oclusiva no cambia de forma significativa en comparación con los niveles de fuerza pretratamiento, y tampoco se constatan diferencias en la activación muscular en comparación con un entrenamiento de resistencia de alta carga sin restricción de flujo⁵⁸. Estos hechos parecen indicar que los cambios en la potencia muscular tras el empleo de BFR pueden estar más relacionados con incrementos rápidos musculares de hipertrofia, más que con adaptaciones neuromusculares. Estos efectos son completamente contrarios a los ocurridos en los entrenamientos de resistencia de alta intensidad, donde el incremento de fuerza proviene de cambios neurales, sumados a aumentos del tamaño muscular. Por tanto, es primordial en atletas e individuos que busquen un aumento en el rendimiento, el empleo de la terapia oclusiva en combinación con entrenamiento convencional, en orden de provocar un incremento de fuerza que surja a partir de diferentes mecanismos adaptativos. Se han expuesto los beneficios del entrenamiento de baja carga mediante restricción de flujo en combinación con entrenamientos tradicionales de alta intensidad, detectando tras finalizar la intervención incrementos similares en el 1RM en ambos grupos de tratamiento, que fueron mayores a los expuestos en el entrenamiento con BFR en exclusiva. La fuerza relativa dinámica también experimentó efectos similares, confirmando el hecho de que, aunque no acontezcan adaptaciones neurales durante este tipo de intervenciones, las adaptaciones funcionales musculares pueden ser impulsadas por combinaciones de entrenamiento oclusivo con ejercicios tradicionales de resistencia de alta carga⁵⁹.

Por tanto, la evidencia afirma la existencia de diferentes respuestas al ejercicio de resistencia sumado a BFR dependiendo del tipo de atleta, observándose como el estrés metabólico durante el ejercicio oclusivo es significativamente mayor en atletas de resistencia aeróbica en comparación con atletas de sprint. Esto es justificable por el hecho de que los atletas de fondo, que poseen una



Figura 8. Restablecimiento del patrón de marcha. (Elaboración propia).

capacidad aeróbica mayor que los atletas explosivos, son más dependientes de la distribución de oxígeno durante el ejercicio, y, por tanto, sufren mayores alteraciones en el metabolismo durante el ejercicio con terapia oclusiva^{55,57,59}.

También es importante reseñar la importancia de la mayor capacidad de acomodamiento psicológico al ejercicio anaeróbico por parte de los atletas de sprint, lo cual les permitiría desarrollar una mayor cantidad de ejercicio sin llegar a desarrollar el mismo grado de estrés metabólico que los deportistas de resistencia^{58,59}. Por ello, el entrenamiento oclusivo de restricción de flujo sanguíneo tiene como principales objetivos diana los individuos postoperatorios, atletas o sujetos sanos que buscan aumentar su rendimiento muscular, así como pacientes que acuden a clínica fisioterápica con atrofia muscular secundaria a otras patologías que precisen de un período de readaptación con cargas muy bajas, sin tener que renunciar por ello a los beneficios que pueda reportar un entrenamiento de mayores intensidades⁵⁸.

Desde el punto de vista fisioterápico, podría ser interesante en consecuencia, la aplicación de la terapia por restricción de flujo en orden de obtener beneficios en circunstancias distantes a la idoneidad, en las que el manejo de altas cargas puede resultar complicado para el paciente. En este sentido, la terapia de oclusión sanguínea resulta un aliado fundamental, reportando así efectos beneficiosos en términos de fuerza e hipertrofia, de forma similar atendiendo a otra serie de intervenciones de fortalecimiento en las que se apliquen cargas mayores. Por ello, como principales aplicaciones, a modo de resumen, podemos destacar a los pacientes postoperatorios de miembro inferior y miembro superior en los que no esté contraindicado el ejercicio físico de baja carga, y no existan otra serie de complicaciones sistémicas o patologías previas que influyan en la regulación del sistema cardiocirculatorio; pacientes del ámbito deportivo en los que se busque una mayor ganancia de fuerza con un volumen de trabajo menor, así como otra serie de

beneficios osteomusculares específicos de la oclusión sanguínea; y pacientes de edad avanzada en los que se contraindique el ejercicio de alto impacto debido al riesgo de fractura, fruto de la posible sarcopenia y osteopenia, y que cumplan el resto de requisitos necesarios para el desarrollo completo de la terapia oclusiva en las mejores condiciones posibles^{55,56}.

6. EVIDENCIA EN LA APLICACIÓN DE TERAPIA DE RESTRICCIÓN DE FLUJO

En la actualidad, la comunidad científica sufre un crecimiento exponencial, tanto en el número de publicaciones por persona, como en el número total de investigadores. Sin embargo, lejos de constituir un problema, resulta una ventaja desde el punto de vista práctico, pues permite a los usuarios que trabajan en la práctica clínica diaria poder decidir y actualizar técnicas de intervención y/o diagnóstico, así como llevar a cabo análisis de coste-beneficio referentes a la temática estudiada. En definitiva, se trata de una herramienta fundamental para cualquier profesión sanitaria, pues es capaz de dotar a los usuarios, y en concreto desde el punto de vista fisioterápico, a los terapeutas, de la mejor elección posible ante una determinada problemática, así como actualizar y reciclar contenidos o estrategias que, si bien en un tiempo pasado reportaron la máxima eficacia, en la actualidad caen en el desuso o incluso resultan contraproducentes⁵⁹.

Por ello, en este capítulo se llevará a cabo una revisión sobre las tendencias actuales en la terapia de restricción de flujo sanguíneo, con el objetivo de exponer las principales aplicaciones de la técnica desde el punto de vista científico y clínico, así como describir las pautas y características de las intervenciones llevadas a cabo en los diferentes estudios computados, estableciendo unas referencias contrastadas en la consulta fisioterápica.

Tras consultar las bases de datos Medline, PEDro y Cochrane Library, se llevó a cabo una selección de estudios referentes a la eficacia del entrenamiento oclusivo en determinadas patologías del sistema musculoesquelético, así como las diferencias respecto a los efectos producidos en consecuencia a sus diferentes aplicaciones. En la Tabla 8 se exponen los resultados del sondeo, los cuales constituyen revisiones sistemáticas y metaanálisis. Se trata, en definitiva, de artículos de revisión que integran un conjunto más o menos amplio de ensayos clínicos controlados donde se aplican diferentes programas de entrenamiento junto al componente de restricción de flujo. Los efectos se cuantifican por medio de variables o también frecuentemente denominadas en la comunidad científica como medidas de resultado, empleando para ello una serie de instrumentos de medida específicos, con el objetivo de evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas tanto en las comparaciones preintervención-postintervención dentro de cada grupo, como comparaciones entre grupos al finalizar el período de tratamiento. Si atendemos a los estudios de metaanálisis, en este caso el proceso es muy similar, sin embargo, respetando los hallazgos de los principales estudios incluidos, también se lleva a cabo un análisis estadístico de cada una de las variables incluidas, computando los tamaños del efecto de cada estudio

Tabla 8. Estudios incluidos en la revisión de evidencia en BFR.

| Autor | Año de publicación | Tipo de estudio | Título |
|-------------------------|--------------------|----------------------|---|
| Lixandrao ⁶⁰ | 2017 | Metaanálisis | 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 |
| Minniti ⁶¹ | 2019 | Metaanálisis | The Safety of Blood Flow Restriction Training as a Therapeutic Intervention for Patients With Musculoskeletal Disorders |
| Centner ⁶² | 2018 | Metaanálisis | Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis |
| Domingos ⁶³ | 2018 | Metaanálisis | Blood pressure response between resistance exercise with and without blood flow restriction: A systematic review and meta-analysis |
| Hughes ⁶⁴ | 2017 | Metaanálisis | Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis |
| Lipker ⁶⁵ | 2018 | Revisión Sistemática | Blood Flow Restriction Therapy Versus Standard Care for Reducing Quadriceps Atrophy After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction |
| Loenneke ⁶⁶ | 2011 | Metaanálisis | Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis |

para esa variable concreta, en orden de ser capaces de emitir un juicio estadísticamente significativo tras el análisis de todos los registros que versan sobre una medida de resultado: el efecto medio.

Entrenamiento de resistencia de alta carga frente al de baja carga en asociación con la terapia por restricción de flujo sanguíneo

Se llevó a cabo una revisión y metaanálisis con el objetivo de comparar los efectos del entrenamiento de alta carga frente al de baja carga con entrenamiento oclusivo, tomando como medidas de resultado principales la fuerza, la hipertrofia muscular y la comparación de ambas entre ambos grupos de intervención⁶⁰. Los estudios incluidos debían poseer una calidad metodológica igual o superior a 4 referente a la escala PEDro, y también debían expresar sus resultados aportando las medias y desviaciones típicas⁶⁰.

Finalmente se incluyeron 13 estudios para la síntesis cuantitativa de la evidencia, exponiendo como resultados principales un mayor incremento de la fuerza muscular en el grupo de entrenamiento de resistencia de alta carga frente al grupo de resistencia de baja carga en combinación con la aplicación de restricción de flujo sanguíneo. En términos de hipertrofia, los resultados arrojaron similares efectos en ambos grupos de tratamiento. Por tanto, según este estudio, se puede concluir que ambos tipos de entrenamiento parecen arrojar beneficios similares de acuerdo al incremento en la masa muscular, no así en la fuerza muscular máxima, donde ciertos programas específicos de entrenamiento entre los que se encuentra el entrenamiento de resistencia en alta carga, obtendrían una ganancia significativamente superior⁶⁰.

Seguridad en la aplicación de la terapia por restricción del flujo sanguíneo como intervención terapéutica en trastornos musculoesqueléticos

En este caso se ejecutó una revisión sistemática y metaanálisis para verificar la seguridad del entrenamiento oclusivo en los desórdenes musculoesqueléticos. Se incluyeron así los artículos cuya intervención fuese la terapia oclusiva, estudios en los que los pacientes presentaran efectos adversos, que estuviesen publicados en inglés y en los que la intervención fuese desarrollada por participantes humanos⁶¹.

Finalmente se incluyeron 19 artículos en la síntesis cuantitativa, exponiendo como resultados principales los diagnósticos de patología de rodilla (artrosis, rotura de ligamento cruzado anterior, etc.), miositis, polimiositis o dermatomiositis, síndrome de salida torácica, rotura de tendón de Aquiles y fracturas. Nueve estudios reportaron ausencia de efectos adversos, mientras que tres describieron eventos adversos extraños, incluyendo dolor muscular y fatiga agudas. Haciendo hincapié en los resultados expuestos por los ensayos clínicos controlados aleatorizados, los individuos en los que se aplicó restricción de flujo sanguíneo no presentaron mayor probabilidad de desarrollar eventos adversos frente a sujetos intervenidos a través de ejercicio en exclusiva. Por tanto, se concluye que la terapia de entrenamiento oclusivo parece constituir una estrategia de fortalecimiento segura para problemas musculoesqueléticos referentes a la rodilla, sin embargo, estudios futuros serían necesarios para extrapolar estas conclusiones y poder evaluar la seguridad en otros desórdenes musculoesqueléticos⁶¹.

Efectos del entrenamiento mediante restricción de flujo sanguíneo en la fuerza muscular e hipertrofia en individuos de edad avanzada

Tras revisar la evidencia correspondiente a la población de edad avanzada, se llevó a cabo una revisión sistemática y metaanálisis referente a la eficacia y efectos producidos por la terapia de restricción de flujo en esta población. Se incluyeron artículos cuyos participantes tuviesen una edad superior a 50 años, en ausencia de patología. Así, se seleccionaron también artículos que incluyesen comparaciones entre entrenamientos de resistencia con y sin restricción vascular, con ejercicios de resistencia tanto de alta carga como de baja carga, así como deambulación con y sin aplicación de terapia de oclusión. Las medidas de resultado principales debían estar relacionadas con la masa muscular y/o la fuerza⁶².

Tras llevar a cabo la búsqueda y cribaje de acuerdo al método PRISMA, de los 2658 resultados obtenidos, se seleccionaron 11 para la síntesis cuantitativa de la evidencia, por medio de un modelo de efectos aleatorios. Se detectó cómo durante el entrenamiento de resistencia de baja carga y la deambulación, la aplicación de BFR arrojó mejoras estadísticamente significativas en relación con la fuerza muscular. La masa muscular también se incrementó atendiendo a las comparaciones con y sin terapia por restricción de flujo. En comparación con el entrenamiento de resistencia de alta carga, el entrenamiento de baja carga sumado a la terapia oclusiva obtuvo unos resultados similares, mientras que en términos de fuerza el incremento fue menor en el grupo de entrenamiento mediante restricción vascular⁶².

Respuesta de la presión sanguínea en ejercicios de resistencia con y sin restricción de flujo sanguíneo

Se llevó a cabo una revisión sistemática y metaanálisis sobre los efectos del ejercicio de resistencia ejecutado en combinación con terapia oclusiva o en ausencia de la misma, en términos de presión sanguínea. Para ello, se incluyeron en exclusiva ensayos clínicos controlados aleatorizados referentes a la respuesta crónica, así como ensayos clínicos controlados aleatorizados y no aleatorizados sobre respuesta aguda. A su vez, los estudios debían incluir ejercicios de resistencia dinámica, con individuos mayores de 18 años, así como presentar descripciones de las intervenciones de ejercicio llevadas a cabo, en combinación con las diferentes formas de aplicación de la terapia de oclusión vascular⁶³.

Finalmente se incluyeron 7 estudios para su análisis cuantitativo, tras la revisión sistemática llevada a cabo atendiendo al formato PRISMA. Los resultados describieron como la presión sanguínea diastólica fue mayor en el entrenamiento con BFR frente al entrenamiento convencional de resistencia de alta carga. Por otra parte, las presiones sistólica y diastólica fueron mayores durante el ejercicio sumado a oclusión vascular en individuos hipertensos en comparación con el ejercicio convencional de resistencia de baja carga. Tras llevar a cabo el análisis post-ejercicio, el grupo de intervención con restricción de flujo sanguíneo presentó valores inferiores en términos de presión sanguínea sistólica y diastólica. Por tanto, es reseñable la existencia de valores más bajos de presión tras la finalización del ejercicio al

aplicar la terapia por restricción de flujo sanguíneo frente al grupo control, a diferencia de lo evidenciado durante la intervención, donde los valores de presión más altos se reportaron en el grupo de tratamiento con oclusión vascular. En consecuencia, el ejercicio en combinación con terapia de restricción de flujo debería ser prescrito con precaución en los casos en los que la presión sanguínea sufra alteraciones fuera de los rangos habituales o normativos en individuos que ejecutan ejercicio⁶³.

Entrenamiento por restricción de flujo sanguíneo en la rehabilitación clínica musculoesquelética

El ejercicio de entrenamiento con baja carga en combinación con la terapia de oclusión vascular podría incrementar la fuerza muscular y ser, desde un punto de vista probabilístico, un abordaje efectivo en el desorden musculoesquelético. Por ello, se llevó a cabo una revisión sistemática y metaanálisis compuesto por ensayos clínicos controlados aleatorizados, incluyendo pacientes con algún desorden musculoesquelético, así como intervenciones de entrenamiento mediante ejercicio físico de resistencia de baja carga en combinación con oclusión vascular, frente a ejercicio sin BFR tanto de alta como de baja carga⁶⁴.



Figura 9. Trabajo isométrico junto a BFR. (Elaboración propia).

Terapia por restricción de flujo sanguíneo frente a intervención convencional en la reducción de atrofia de cuádriceps tras reconstrucción de ligamento cruzado anterior

Tras la rotura y posterior reconstrucción de ligamento cruzado anterior, es frecuente la aparición de atrofia de la musculatura de miembro inferior, en especial, de la musculatura cuádriceps, inhibida fruto de la intervención quirúrgica y el reposo posterior. En este contexto, surge



Figura 10. Aplicación en LCA postquirúrgico. (Elaboración propia).

la aplicación de terapia por restricción de flujo, una intervención que busca producir efectos similares en el aumento de fuerza muscular e hipertrofia trabajando con cargas bajas, de los resultados que podrían obtenerse con cargas significativamente más altas, no toleradas en un comienzo por los pacientes operados recientemente. Se llevó a cabo una revisión sistemática compuesta por ensayos clínicos controlados aleatorizados, que incluyesen pacientes con reconstrucción de ligamento cruzado anterior, comparando intervenciones de BFR con tratamientos convencionales⁶⁵.

Tras llevar a cabo la búsqueda, se incluyeron 3 estudios para su revisión sistemática. En relación con la atrofia muscular, dos estudios reportaron diferencias estadísticamente significativas a favor de la terapia con BFR en comparación con el tratamiento convencional, sin embargo, existieron diferencias de duración significativas entre la duración de la sesión de cada uno de los grupos de intervención experimental, variando desde los 15 hasta los 50 minutos⁶⁵. Por ello, aunque en los estudios se reportan otra serie de variables como el rango de movimiento, la inestabilidad anterior de rodilla o variables referentes a parámetros funcionales, no existió homogeneidad entre los mismos como para permitir una comparación con mayor rigor metodológico, como el empleo de técnicas de metaanálisis. En conclusión, se puede constatar una tendencia hacia la reducción de atrofia en las intervenciones con terapia de restricción de flujo frente al grupo control de tratamiento estándar⁶⁵.

Entrenamiento de baja intensidad mediante restricción de flujo sanguíneo

El objetivo primario en esta revisión sistemática y metaanálisis fue determinar cuáles de las variables referentes a un entrenamiento mediante oclusión vascular pueden influir en la obtención de mayores ganancias de fuerza e hipertrofia tras la ejecución de ejercicios de baja intensidad. Por

ello se incluyeron estudios que comparasen los efectos del ejercicio de resistencia de baja intensidad en comparación con el ejercicio de alta intensidad en combinación con restricción de flujo. Los participantes incluidos debían presentar características demográficas similares, y al menos una de las medidas de resultado principales debía constituir la hipertrofia muscular⁶⁶.

Tras llevar a cabo la síntesis cuantitativa de la evidencia, se incluyeron finalmente 11 estudios, que, tras ser computados, reportaron diferencias estadísticamente significativas en favor de la terapia mediante restricción de flujo frente al grupo control de resistencia en las variables de fuerza muscular e hipertrofia tras la finalización de la intervención. Por otra parte, se reportó un mayor tamaño del efecto en las intervenciones desarrolladas de 2 a 3 días por semana frente a las ejecutadas de 4 a 5 días por semana. Por ello, puede concluirse que la terapia por restricción de flujo en combinación con un entrenamiento de resistencia de baja intensidad puede resultar tanto o más efectiva que un entrenamiento de resistencia de alta o baja intensidad sin oclusión vascular, haciendo referencia a las medidas de resultado de hipertrofia y ganancia de fuerza muscular⁶⁶.

7. RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO EN EL EJERCICIO AERÓBICO: UNA NUEVA PERSPECTIVA

El desarrollo de nuevas intervenciones mediante ejercicio tiene como principal objetivo el aumento de beneficios en variables psicofísicas en individuos sanos, así como el incremento del rendimiento deportivo en atletas de alta competición, metas que se plantean de forma regular en los programas de entrenamiento de profesionales del ejercicio y usuarios regulares. El mantenimiento de un alto nivel de actividad física aeróbica puede incrementar el desarrollo de capacidades específicas, favorecer las aptitudes de recuperación post-ejercicio, así como la promoción de la salud en sus diferentes ámbitos. No obstante, se acepta comúnmente el hecho de que, si el ejercicio aeróbico y las capacidades de rendimiento se incrementan, a su vez serán necesarias mayores cargas de entrenamiento en orden de desencadenar una respuesta de entrenamiento que sea capaz de estresar las estructuras y sistemas corporales implicados, obteniéndose la mejora en última instancia. En este sentido, el desarrollo de intervenciones de entrenamiento que puedan asistir en el mantenimiento de las capacidades aeróbicas en situaciones en las que las modalidades de ejercicio de alta intensidad no estén disponibles (tales como escenarios de rehabilitación o períodos de preparación física previos a la temporada), pueden ser de vital importancia en la consecución de unos objetivos previamente propuestos⁶⁷.

La puesta en escena del ejercicio en combinación con la terapia por restricción de flujo sanguíneo se ha convertido en un entrenamiento relativamente popular en los ámbitos deportivo y de rehabilitación, en orden de incrementar el estrés psicológico mientras se llevan a cabo intensidades relativamente bajas de esfuerzo físico. Las técnicas de oclusión vascular, o también denominadas KAATSU, comprenden una relativa variedad de movimientos y actividades en las que se aplica un sistema

de compresión externo (frecuentemente un manguito de presión, una banda muscular o un torniquete) en la región proximal de la extremidad objetivo, con el propósito principal de restringir el flujo de presión arterial y ocluir el retorno venoso. Por ello, el entrenamiento oclusivo podría causar una disminución en el reparto de oxígeno y nivel de metabolitos, favoreciéndose un ambiente relativamente más estresante y estimulante desde el punto de vista de la adaptación física^{67,68}. Los efectos observados del ejercicio mediante restricción de flujo sanguíneo producen incrementos en la frecuencia cardíaca, el reclutamiento muscular de fibras y la producción de hormonas sistémicas. Esta reflexión sostendría la idea de que la aplicación de entrenamiento oclusivo en ejercicio aeróbico de baja intensidad es capaz de estimular las adaptaciones psicológicas necesarias para un mayor rendimiento, en condiciones de reducción de carga mecánica. La terapia de restricción de flujo sanguíneo ha demostrado promover el desarrollo de hipertrofia y fuerza muscular empleando cargas en torno al 20-50% del 1RM en atletas, adultos aparentemente sanos, personas de edad avanzada y pacientes con enfermedades severas⁶⁸. Por tanto, el entrenamiento mediante terapia oclusiva podría promover el desarrollo de la fuerza y tamaño musculares en poblaciones en las que la resistencia de alta carga sea inviable, como en el caso de atletas durante la temporada de competición, así como individuos en la fase post-aguda de rehabilitación musculoesquelética, y constituyendo así una estrategia efectiva en la clínica actual desde el paradigma fisioterápico, contando con sus sencillas pautas de aplicación y su coste relativamente bajo, en orden de proveer un método efectivo de entrenamiento con una serie de barreras mínimas de implementación⁶⁸.

En definitiva, la combinación de restricción de flujo sanguíneo y ejercicio aeróbico podría exponerse como un método efectivo y práctico de entrenamiento de las funciones cardiorrespiratorias en la población clínica, siendo capaz de ofertar además una estrategia de mantenimiento o incremento del rendimiento aeróbico en sujetos objetivo del ámbito deportivo en períodos de intensidad de entre-



Figura 11. Deambulaci3n con oclusi3n. (Elaboraci3n propia).

namiento reducida⁶⁹. En este sentido, se llev3 a cabo una revisi3n sistemática compuesta por 14 ensayos clínicos, de los cuales 11 eran controlados aleatorizados, 2 eran cohortes, y 1 estudio clínic3 no controlado, con criterios de inclusi3n tales como el empleo de medidas pretest y postest de ejercicio aeróbico o rendimiento aeróbico (VO_2 Max, 6-minute walk test, etc.), y estudios que incluyesen únicamente aplicaciones de BFR de presi3n externa sobre un punto proximal de la extremidad^{68,69}.

Del total de estudios incluidos referentes al ejercicio en combinaci3n con BFR, 8 demostraron mejoras significativas en el VO_2 Max o en el pico de VO_2 . Estos resultados se obtuvieron principalmente en individuos j3venes sanos que emplearon presiones de oclusi3n relativamente altas, y, consecuentemente, los 4 estudios que no reportaron cambios significativos en las variables de oxígeno incluyeron sujetos de edad avanzada, en los que se emplearon presiones m3s bajas. La modalidad de ejercicio llevada a cabo no report3 diferencias significativas entre grupos, por lo que no se podrían atribuir beneficios o efectos específcos por parte de un ejercicio frente a otro en base a los resultados de la revisi3n expuesta. No obstante, aunque la tendencia se dirija hacia un mayor incremento de la capacidad aeróbica en individuos j3venes tras la ejecuci3n de ejercicio aeróbico combinado con entrenamiento oclusivo con presiones de al menos 90 mmHg, es importante a su vez destacar que se detectaron aumentos estadísticamente significativos en variables referentes al rendimiento aeróbico en todos los grupos de intervenci3n incluidos, salvando las respectivas diferencias entre ellos^{69,70}. A una intensidad concreta de ejercicio, el ejercicio mediante restricción de flujo ha evidenciado reducir el flujo de presi3n arterial, así como incrementar el estancamiento venoso en la extremidad, reduciendo el volumen sist3lico e incrementando la frecuencia cardíaca, produciéndose así una serie de adaptaciones cardiocirculatorias. Sumado a ello, la terapia de oclusi3n ha demostrado incrementar la toxicidad y acumulaci3n de metabolitos en el miembro intervenido, desencadenando de igual forma adaptaciones musculares periféricas. Debido a la frecuente disminuci3n de calidad muscular observada con el aumento del incremento de edad, podría hipotetizarse que el ejercicio aeróbico con restricción de flujo en personas de edad avanzada es capaz de estimular en primera instancia, la creaci3n de adaptaciones periféricas, relacionadas con los sistemas respiratorio y vascular, tan importantes en este rango de edad. Estos hechos impulsarían el empleo de BFR con objetivos sistémicos en individuos de edad avanzada, sin destacar un gran incremento en variables referentes a capacidades aeróbicas⁷⁰.

Mientras que el entrenamiento de resistencia de baja carga con BFR sumado a ejercicio aeróbico ha objetivado mejoras en la capacidad aeróbica y en el rendimiento en individuos de edad avanzada en 2 estudios, ninguno de ellos incluyeron un grupo control que desarrollara en exclusiva ejercicio aeróbico, por lo que desde este punto de vista sería imposible determinar el origen de las adaptaciones musculares y periféricas acaecidas, y si su origen pasaría por entrenamientos de resistencia de baja carga, o bien son consecuencia secundaria del aumento de capacidad aeróbica. Finalmente, en individuos entrenados, la com-

binación de entrenamiento en intervalos de alta intensidad con presión oclusiva elevada sumado a BFR, demostró de forma significativa un aumento en el VO_2 Max, en comparación con el mismo tipo de entrenamiento en ausencia de restricción de flujo, lo que se explicaría por la efectividad de la oclusión especialmente en los períodos de reposo de los sprints, favoreciendo un desarrollo de los capilares en términos de densidad, correspondiendo a un incremento en el volumen de oxígeno máximo. Sin embargo, aunque se reporten efectos positivos por parte de la terapia oclusiva en determinados aspectos, existen ciertos hallazgos negativos, como una mayor incidencia de percepción de dolor muscular postesfuerzo y de esfuerzo físico global percibido, en comparación con el entrenamiento en ausencia de BFR⁶⁸⁻⁷⁰.

Por tanto, el ejercicio aeróbico se concibe en el contexto clínico actual como una estrategia fundamental en el mantenimiento de la salud y función cardiovasculares, sin hablar de la importancia que adquiere en términos de rendimiento deportivo. La combinación de terapia de restricción de flujo sanguíneo con ejercicio aeróbico puede proporcionar incrementos en el desarrollo aeróbico en determinadas poblaciones, independientemente del tipo de ejercicio de carácter aeróbico desarrollado. Las técnicas de BFR en intensidades ligeramente altas han mostrado mejoras en individuos jóvenes a presiones oclusivas superiores a 130 mmHg, proporcionando adaptaciones centrales y periféricas en individuos que llevan a cabo el entrenamiento de restricción de flujo sumado a un ejercicio aeróbico, por lo que podría recomendarse en situaciones en las que el entrenamiento de alta intensidad esté contraindicado^{69,70}.

8. OTRAS APLICACIONES DE HIPOXIA EN FISIOTERAPIA

En lo referente a la hipoxia, se va a comenzar comentando los diferentes tipos que se pueden encontrar, para así poder comprender qué clases de hipoxia se emplean en distintas patologías. Además, es necesario conocer qué efectos producen en nuestro organismo y cómo los fisioterapeutas podemos beneficiarnos de su uso⁷¹.

La hipoxia se define como la falta de oxígeno en los tejidos, que puede surgir debido a varias razones. Ésta es por lo general precedida por hipoxemia, la cual es una disminución de la concentración de oxígeno en la sangre. Otro concepto importante es la hipercapnia, que se define como una elevación de la concentración de dióxido de carbono en sangre, la cual se encuentra con frecuencia en el estado hipóxico⁷¹.

Existen diferentes tipos de hipoxia atendiendo a la forma de desarrollo o al tiempo de exposición. Según su forma, podemos encontrar los siguientes tipos⁷¹:

- *Hipoxia anémica*, la cual es una reducción de la capacidad de fijación de oxígeno en sangre por una alteración del transporte de oxígeno. Puede ocurrir por disminución de la concentración de hemoglobina, una disminución del número de eritrocitos o déficit de hierro.
- *Hipoxia por estancamiento*, que se produce por una disminución del volumen sanguíneo y puede surgir en cirugías, pérdidas de sangre grandes en accidentes, donaciones, etc.

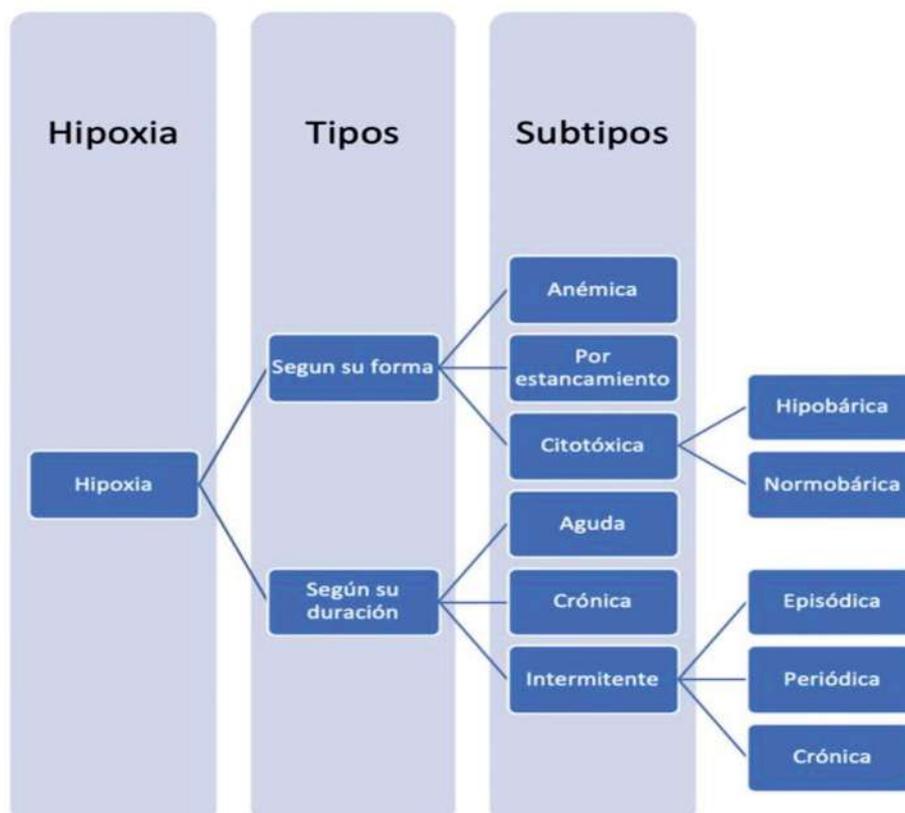


Figura 12. Clasificación de hipoxia.

- *Hipoxia citotóxica*, provocada por la interferencia de drogas o algunos fármacos. Se diferencian dos subgrupos dentro de la misma: la hipobárica y la normobárica. La hipoxia hipobárica es generada por la disminución de la presión atmosférica, manteniendo la misma concentración de oxígeno en el aire y disminuyendo el aporte de oxígeno a las células. En segundo lugar, está la hipoxia normobárica, que se produce al introducir aire de baja concentración de oxígeno siendo la presión la misma.

Según el tiempo de exposición, se pueden diferenciar tres tipos⁷²:

- *Hipoxia aguda*, cuando existe una exposición puntual a la hipoxia. Los sujetos están un breve periodo de tiempo expuestos a ella.
- *Hipoxia crónica*, producida cuando la hipoxia es prolongada y se generan unas respuestas de aclimatación compensatorias.
- *Hipoxia intermitente*, la cual se produce mediante un sistema de modificación de atmósferas artificial, como lo son las cámaras hipobáricas, o bien dispositivos más novedosos como IAltitude.

Dentro de la hipoxia intermitente se distinguen tres tipos, según la repetitividad de este tipo de estímulos: La hipoxia intermitente episódica, que se trata de un estado hipóxico que muchas veces pasa inadvertido por sufrirse de forma habitual inconscientemente; la hipoxia intermitente periódica que se produce tras una hipoxia de larga duración; y la hipoxia intermitente crónica, donde se repiten una y otra vez las exposiciones a la hipoxia de manera regular y son permanentes a lo largo del tiempo⁷².

La hipoxia a nivel fisiológico genera una serie de modificaciones bioquímicas, las cuales pueden ser usadas por los fisioterapeutas para aumentar el rendimiento físico de los pacientes. Una de las reacciones que ocurre es la alcalosis respiratoria, que consiste en una reducción de la presión parcial de dióxido de carbono (PCO_2), en combinación con una disminución compensadora de la concentración de bicarbonato (HCO_3^-). La causa de esta reacción es un aumento de la frecuencia, el volumen respiratorio o de ambos. La alcalosis respiratoria puede ser aguda o crónica. La forma crónica es asintomática, pero la aguda causa mareo, confusión, parestesias, calambres y síncope⁷³.

A lo largo el tiempo, el modo de aplicación de la hipoxia ha ido variando y perfeccionándose. Originariamente, se desplazaba a la gente a zonas de gran altitud. Posteriormente se inició la construcción de centros de alto rendimiento en estas altitudes, estableciendo en esas instalaciones planes de entrenamiento o tratamientos médicos personalizados. En España el centro de referencia es el CAR de Sierra Nevada⁷³.

A este centro de alto rendimiento acuden numerosos casos de deportistas de élite que quieren comenzar a preparar la temporada buscando aumentar su rendimiento físico, y consecuentemente la opción de obtener mejores marcas a nivel individual o de equipo.

Con el paso del tiempo se fueron desarrollando nuevas técnicas y tecnologías como las cámaras hipobáricas, donde

el sujeto se introduce en una sala, en la cual se modifica la presión atmosférica. La hipoxia que se produce en este caso es llamada por cambio de presión o hipobárica.^{73,74} Actualmente, todos estos sistemas se han visto optimizados, y han surgido dispositivos como IAltitude Ò, un dispositivo de hipoxia intermitente que, en vez de modificar las presiones, modifica el porcentaje de oxígeno (FI_{O_2}) que inhala la persona, permitiendo además poder realizar actividades deportivas de forma óptima⁷⁴.

Todos estos avances en la aplicación de la hipoxia han servido para emplear esta técnica como medida complementaria en el tratamiento de numerosas patologías, tales como la obesidad, diabetes, la apnea del sueño e incluso para aumentar la condición física de deportistas⁷⁴. Numerosos son los estudios que muestran evidencia de cómo afecta la hipoxia a la condición física humana, repercutiendo en la respuesta aeróbica o modificando la fuerza, influyendo así en los valores de hipertrofia⁷²⁻⁷⁴.

9. RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO: DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA

El protocolo de inflado e individualización de presión resulta fundamental en la obtención de beneficios tras la aplicación de restricción de flujo sanguíneo. Los pasos a seguir para su puesta en escena pueden ser los siguientes:

- Elegir el tamaño de manguito que mejor se adapte al diámetro del miembro.
- Colocar el manguito en la zona más proximal del miembro, tratando de dejar el área de inflado en la cara anterior externa para que no incomode al paciente durante la realización de los ejercicios.
- Conectar el esfigmomanómetro al manguito.
- Colocar un sistema de evaluación de flujo vascular Doppler en una arteria distal al manguito. En caso del miembro superior podría ser la arteria radial y en el miembro inferior la arteria pedia. Importante oír y percibir el pulso.
- Comenzar a inflar el manguito de manera progresiva hasta que el pulso en la arteria seleccionada no exista, detectándose la presión de oclusión total.
- Reducir la presión hasta un 50% y desconectar el esfigmomanómetro.

Como se ha descrito, la presión de oclusión más estudiada y la que más ha sido recomendada es aquella que se sitúa en torno al 50% de la presión de oclusión total. Esta presión puede ser mayor o menor y dependerá de la tolerancia del paciente a la percepción de restricción, que en ocasiones puede ser molesta.

En cuanto a protocolos de ejercicios con BFR, el más usado actualmente es el 30-15-15-15. Este protocolo se compone de 4 series de un mismo ejercicio, siendo la primera serie de 30 repeticiones y el resto de 15 repeticiones. Los descansos entre series han de ser breves, de unos 30 segundos, y no se debe retirar el manguito entre series a no ser que al paciente le sea imposible de soportar.

Tras la revisión llevada a cabo referente al uso de la técnica de restricción de flujo, pasando desde los primeros manguitos que consistían en bandas elásticas a los manguitos actuales, se puede afirmar que la visión actual de estas intervenciones es muy positiva. Se han descrito una considerable cantidad de trabajos científicos que avalan y especifican los beneficios de esta técnica. En definitiva, la terapia oclusiva suele suponer un aumento de la adherencia del paciente al tratamiento, ya que se expone como enfoque diferente a terapias convencionales en el paradigma fisioterápico, suponiendo un estímulo relativamente eficaz en la readaptación. Además, los cambios a nivel de fuerza y ganancia de masa muscular son muy llamativos por su considerable magnitud, y respecto al dolor, las reducciones del mismo suelen ser significativas, aunque se precisan estudios futuros que evidencien otros efectos en este aspecto. Esta técnica ha llegado para quedarse y supondrá un tratamiento eficaz en los programas destinados a diferentes trastornos musculoesqueléticos.

BLIOGRAFÍA

- Allsopp GL, May AK. Can low-load blood flow restriction training elicit muscle hypertrophy with modest inflammation and cellular stress, but minimal muscle damage? *J Physiol (Lond)* 2017;595:6817–8. <https://doi.org/10.1113/JP275149>.
- Barbosa JB, Maia TO, Alves PS, Bezerra SD, Moura EC, Medeiros AIC, et al. Does blood flow restriction training increase the diameter of forearm vessels in chronic kidney disease patients? A randomized clinical trial. *J Vasc Access* 2018;19:626–33. <https://doi.org/10.1177/1129729818768179>.
- Centner C, Lauber B, Seynnes OR, Jerger S, Sohnius T, Gollhofer A, et al. Low-load blood flow restriction training induces similar morphological and mechanical Achilles tendon adaptations compared with high-load resistance training. *J Appl Physiol* 2019a;127:1660–7. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00602.2019>.
- Amorim S, Degens H, Passos Gaspar A, De Matos LDNJ. The Effects of Resistance Exercise With Blood Flow Restriction on Flow-Mediated Dilation and Arterial Stiffness in Elderly People With Low Gait Speed: Protocol for a Randomized Controlled Trial. *JMIR Res Protoc* 2019;8:e14691. <https://doi.org/10.2196/14691>.
- Bennett H, Slattery F. Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity and Performance: A Systematic Review. *J Strength Cond Res* 2019;33:572–83. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002963>.
- Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health* 2019;11:149–56. <https://doi.org/10.1177/1941738118821929>.
- Brandner CR, Clarkson MJ, Kidgell DJ, Warmington SA. Muscular Adaptations to Whole Body Blood Flow Restriction Training and Detraining. *Front Physiol* 2019;10:1099. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01099>.
- Crisafulli A, de Farias RR, Farinatti P, Lopes KG, Milia R, Sainas G, et al. Blood Flow Restriction Training Reduces Blood Pressure During Exercise Without Affecting Metaboreflex Activity. *Front Physiol* 2018;9:1736. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01736>.
- Buckthorpe M, La Rosa G, Villa FD. Restoring Knee Extensor Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Clinical Commentary. *Int J Sports Phys Ther* 2019;14:159–72.
- Buford TW, Fillingim RB, Manini TM, Sibille KT, Vincent KR, Wu SS. Kaatsu training to enhance physical function of older adults with knee osteoarthritis: Design of a randomized controlled trial. *Contemp Clin Trials* 2015;43:217–22. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2015.06.016>.
- Bittar ST, Pfeiffer PS, Santos HH, Cirilo-Sousa MS. Effects of blood flow restriction exercises on bone metabolism: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging* 2018. <https://doi.org/10.1111/cpf.12512>.
- Centner C, Zdzieblik D, Dressler P, Fink B, Gollhofer A, König D. Acute effects of blood flow restriction on exercise-induced free radical production in young and healthy subjects. *Free Radic Res* 2018;52:446–54. <https://doi.org/10.1080/10715762.2018.1440293>.
- Centner C, Zdzieblik D, Roberts L, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training with Protein Supplementation on Muscle Mass And Strength in Older Men. *J Sports Sci Med* 2019d;18:471–8.
- Dankel SJ, Jessee MB, Abe T, Loenneke JP. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sports Med* 2016;46:23–33. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0407-7>.
- Abe T, Mouser JG, Dankel SJ, Bell ZW, Buckner SL, Mattocks KT, et al. A method to standardize the blood flow restriction pressure by an elastic cuff. *Scand J Med Sci Sports* 2019;29:329–35. <https://doi.org/10.1111/sms.13340>.
- Christiansen D, Eibye KH, Rasmussen V, Voldbye HM, Thomassen M, Nyberg M, 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 (Lond)* 2019;597:2421–44. <https://doi.org/10.1113/JP277657>.
- Cristina-Oliveira M, Meireles K, Spranger MD, O'Leary DS, Roschel H, Peçanha T. Clinical safety of blood flow-restricted training? A comprehensive review of altered muscle metaboreflex in cardiovascular disease during ischemic exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2020;318:H90–109. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00468.2019>.
- Curty VM, Melo AB, Caldas LC, Guimarães-Ferreira L, de Sousa NF, Vassallo PF, et al. Blood flow restriction attenuates eccentric exercise-induced muscle damage without perceptual and cardiovascular overload.

- Clin Physiol Funct Imaging 2018;38:468–76. <https://doi.org/10.1111/cpf.12439>.
19. Douris PC, Cogen ZS, Fields HT, Greco LC, Hasley MR, Machado CM, et al. The Effects Of Blood Flow Restriction Training On Functional Improvements In An Active Single Subject With Parkinson Disease. *Int J Sports Phys Ther* 2018;13:247–54.
 20. Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, Kurimori CO, Fuller R, Lima FR, et al. Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc* 2018;50:897–905. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001530>.
 21. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morphology, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys Ther* 2019;99:1010–9. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz062>.
 22. Franz A, Queitsch FP, Behringer M, Mayer C, Krauspe R, Zilkens C. Blood flow restriction training as a prehabilitation concept in total knee arthroplasty: A narrative review about current preoperative interventions and the potential impact of BFR. *Med Hypotheses* 2018;110:53–9. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2017.10.029>.
 23. Hanke AA, Wiechmann K, Suckow P, Rolff S. [Effectiveness of blood flow restriction training in competitive sports]. *Unfallchirurg* 2020;123:176–9. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00779-6>.
 24. Heitkamp HC. Training with blood flow restriction. Mechanisms, gain in strength and safety. *J Sports Med Phys Fitness* 2015;55:446–56.
 25. Faltus J, Owens J, Hedt C. Theoretical Applications Of Blood Flow Restriction Training In Managing Chronic Ankle Instability In The Basketball Athlete. *Int J Sports Phys Ther* 2018;13:552–60.
 26. 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* 2019;1–7. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0043>.
 27. Hughes L, Patterson SD, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, McCarthy D, et al. Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Phys Ther Sport* 2019;39:90–8. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.06.014>.
 28. Kjeldsen SS, Næss-Schmidt ET, Hansen GM, Nielsen JF, Stubbs PW. Neuromuscular effects of dorsiflexor training with and without blood flow restriction. *Heliyon* 2019;5:e02341. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02341>.
 29. Luebbers PE, Witte EV, Oshel JQ, Butler MS. Effects of Practical Blood Flow Restriction Training on Adolescent Lower-Body Strength. *J Strength Cond Res* 2019;33:2674–83. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002302>.
 30. Kondo T. Rumpel-Leede phenomenon associated with blood flow restriction training. *QJM* 2018;111:345. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcx244>.
 31. Lixandrão ME, Roschel H, Ugrinowitsch C, Miquelini M, Alvarez IF, Libardi CA. Blood-Flow Restriction Resistance Exercise Promotes Lower Pain and Ratings of Perceived Exertion Compared With Either High- or Low-Intensity Resistance Exercise Performed to Muscular Failure. *J Sport Rehabil* 2019;28:706–10. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0030>.
 32. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol* 2015;115:2471–80. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3253-2>.
 33. Mahoney SJ, Dicks ND, Lyman KJ, Christensen BK, Hackney KJ. Acute Cardiovascular, Metabolic, and Muscular Responses to Blood Flow Restricted Rowing Exercise. *Aerosp Med Hum Perform* 2019a;90:440–6. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5258.2019>.
 34. Laurentino GC, Loenneke JP, Teixeira EL, Nakajima E, Iared W, Tricoli V. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptations after Blood Flow Restriction Training. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48:920–5. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000833>.
 35. Mahoney SJ, Dicks ND, Lyman KJ, Christensen BK, Hackney KJ. Acute Cardiovascular, Metabolic, and Muscular Responses to Blood Flow Restricted Rowing Exercise. *Aerosp Med Hum Perform* 2019b;90:440–6. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5258.2019>.
 36. Martín-Hernández J, Santos-Lozano A, Foster C, Lucia A. Syncope Episodes and Blood Flow Restriction Training. *Clin J Sport Med* 2018;28:e89–91. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000496>.
 37. Wilkinson BG, Donnerwerth JJ, Peterson AR. Use of Blood Flow Restriction Training for Postoperative Rehabilitation. *Curr Sports Med Rep* 2019;18:224–8. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000604>.
 38. Næss-Schmidt ET, Morthorst M, Pedersen AR, Nielsen JF, Stubbs PW. Corticospinal excitability changes following blood flow restriction training of the tibialis anterior: a preliminary study. *Heliyon* 2017;3:e00217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00217>.
 39. Shen L, Li J, Chen Y, Lu Z, Lyu W. L-carnitine's role in KAATSU training-induced neuromuscular fatigue. *Biomed Pharmacother* 2020;125:109899. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.109899>.
 40. Nascimento D da C, Petriz B, Oliveira S da C, Vieira DCL, Funghetto SS, Silva AO, et al. Effects of blood flow restriction exercise on hemostasis: a systematic review of randomized and non-randomized trials. *Int J Gen Med* 2019;12:91–100. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S194883>.

41. Tennent DJ, Burns TC, Johnson AE, Owens JG, Hylden CM. Blood Flow Restriction Training for Postoperative Lower-Extremity Weakness: A Report of Three Cases. *Curr Sports Med Rep* 2018;17:119–22. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000470>.
42. Martín-Hernández J, Ruiz-Aguado J, Herrero AJ, Loenneke JP, Aagaard P, Cristi-Montero C, et al. Adaptation of Perceptual Responses to Low-Load Blood Flow Restriction Training. *J Strength Cond Res* 2017;31:765–72. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001478>.
43. Ozawa Y, Koto T, Shinoda H, Tsubota K. Vision Loss by Central Retinal Vein Occlusion After Kaatsu Training: A Case Report. *Medicine (Baltimore)* 2015;94:e1515. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000001515>.
44. Noto T, Hashimoto G, Takagi T, Awaya T, Araki T, Shiba M, et al. Paget-Schroetter Syndrome Resulting from Thoracic Outlet Syndrome and KAATSU Training. *Intern Med* 2017;56:2595–601. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.7937-16>.
45. Yow BG, Tennent DJ, Dowd TC, Loenneke JP, Owens JG. Blood Flow Restriction Training After Achilles Tendon Rupture. *J Foot Ankle Surg* 2018;57:635–8. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.11.008>.
46. Patterson SD, Brandner CR. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *J Sports Sci* 2018;36:123–30. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1284341>.
47. May AK, Russell AP, Warmington SA. Lower body blood flow restriction training may induce remote muscle strength adaptations in an active unrestricted arm. *Eur J Appl Physiol* 2018b;118:617–27. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3806-2>.
48. Picón MM, Chulvi IM, Cortell J-MT, Tortosa J, Alkhadar Y, Sanchís J, et al. Acute Cardiovascular Responses after a Single Bout of Blood Flow Restriction Training. *Int J Exerc Sci* 2018;11:20–31.
49. Rolff S, Korallus C, Hanke AA. [Rehabilitation with the aid of blood flow restriction training]. *Unfallchirurg* 2020;123:180–6. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00770-1>.
50. Wentzell M. Post-operative rehabilitation of a distal biceps brachii tendon reattachment in a weightlifter: a case report. *J Can Chiropr Assoc* 2018a;62:193–201.
51. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Corrigendum: Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol* 2019b;10:1332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01332>.
52. Törpel A, Herold F, Hamacher D, Müller NG, Schega L. Strengthening the Brain-Is Resistance Training with Blood Flow Restriction an Effective Strategy for Cognitive Improvement? *J Clin Med* 2018;7. <https://doi.org/10.3390/jcm7100337>.
53. Vogel J, Niederer D, Engeroff T, Vogt L, Troidl C, Schmitz-Rixen T, et al. Effects on the Profile of Circulating miRNAs after Single Bouts of Resistance Training with and without Blood Flow Restriction-A Three-Arm, Randomized Crossover Trial. *Int J Mol Sci* 2019;20. <https://doi.org/10.3390/ijms20133249>.
54. Rossi FE, de Freitas MC, Zanchi NE, Lira FS, Cholewa JM. The Role of Inflammation and Immune Cells in Blood Flow Restriction Training Adaptation: A Review. *Front Physiol* 2018;9:1376. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01376>.
55. Scott BR, Peiffer JJ, Goods PSR. The Effects of Supplementary Low-Load Blood Flow Restriction Training on Morphological and Performance-Based Adaptations in Team Sport Athletes. *J Strength Cond Res* 2017;31:2147–54. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001671>.
56. Tabata S, Suzuki Y, Azuma K, Matsumoto H. Rhabdomyolysis After Performing Blood Flow Restriction Training: A Case Report. *J Strength Cond Res* 2016;30:2064–8. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001295>.
57. Tegtbur U. [Blood flow restriction training]. *Unfallchirurg* 2020;123:169. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00769-8>.
58. Tegtbur U, Haufe S, Busse MW. [Application and effects of blood flow restriction training]. *Unfallchirurg* 2020;123:170–5. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00774-x>.
59. Spranger MD, Krishnan AC, Levy PD, O'Leary DS, Smith SA. Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2015;309:H1440-1452. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00208.2015>.
60. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, 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* 2018;48:361–78. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>.
61. Minniti MC, Statkevich AP, Kelly RL, Rigsby VP, Exline MM, Rhon DI, et al. The Safety of Blood Flow Restriction Training as a Therapeutic Intervention for Patients With Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review. *Am J Sports Med* 2019;363546519882652. <https://doi.org/10.1177/0363546519882652>.
62. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2019;49:95–108. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0994-1>.
63. Domingos E, Polito MD. Blood pressure response between resistance exercise with and without blood flow restriction: A systematic review and meta-analysis. *Life Sci* 2018;209:122–31. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.08.006>.

64. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2017;51:1003–11. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>.
65. Lipker LA, Persinger CR, Michalko BS, Durall CJ. Blood Flow Restriction Therapy Versus Standard Care for Reducing Quadriceps Atrophy After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Sport Rehabil* 2019;1–5. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0062>.
66. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bembien MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* 2012;112:1849–59. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2167-x>.
67. Whiteley R. Blood Flow Restriction Training in Rehabilitation: A Useful Adjunct or Lucy's Latest Trick? *J Orthop Sports Phys Ther* 2019;49:294–8. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.0608>.
68. Tennent DJ, Hylden CM, Johnson AE, Burns TC, Wilken JM, Owens JG. Blood Flow Restriction Training After Knee Arthroscopy: A Randomized Controlled Pilot Study. *Clin J Sport Med* 2017;27:245–52. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000377>.
69. Valério DF, Berton R, Conceição MS, Canevarolo RR, Chacon-Mikahil MPT, Cavaglieri CR, et al. Early metabolic response after resistance exercise with blood flow restriction in well-trained men: a metabolomics approach. *Appl Physiol Nutr Metab* 2018;43:240–6. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0471>.
70. Vanwyke WR, Weatherholt AM, Mikesky AE. Blood Flow Restriction Training: Implementation into Clinical Practice. *Int J Exerc Sci* 2017;10:649–54.
71. Patterson SD, Hughes L, Head P, Warmington S, Brandner C. Blood flow restriction training: a novel approach to augment clinical rehabilitation: how to do it. *Br J Sports Med* 2017;51:1648–9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097738>.
72. Dankel SJ, Jessee MB, Abe T, Loenneke JP. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sports Med* 2016;46:23–33. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0407-7>.
73. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med* 2015;45:187–200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>.
74. Scott BR, Slattery KM, Sculley DV, Dascombe BJ. Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Sports Med* 2014;44:1037–54. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0177-7>.

+ Publicación Tesina
(Incluido en el precio)



1500 HORAS
60 ECTS

Máster en catástrofes, emergencias y ayuda humanitaria



+ Publicación Tesina
(Incluido en el precio)



2.495 € PDF

1500 HORAS
60 ECTS

Máster en Salud Laboral en el Medio Sanitario

