



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

TRABAJO FIN DE GRADO

Propuesta de intervención

David González Maura

Director: Txomin Pérez Bilbao

Doble Grado Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y Educación
Primaria con mención en lengua extranjera: inglés.

Curso 2020/2021

3 de junio de 2021



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

TRABAJO FIN DE GRADO

Propuesta de intervención

“Efecto sobre la hipertrofia muscular de un programa de entrenamiento de fuerza con restricción del flujo sanguíneo en adultos jóvenes sanos”

RESUMEN

Hoy en día, el aumento de la masa muscular es un objetivo perseguido por millones de personas en todo el mundo, independientemente de que los fines estén vinculados a la salud, el rendimiento o la estética. La hipertrofia muscular se ha convertido en la principal vía para alcanzar estos objetivos, llevando a orientarse los entrenamientos de fuerza a su consecución. Tradicionalmente se ha optado por un entrenamiento de fuerza de alta intensidad con cargas superiores del 70% del 1RM, como el entrenamiento óptimo para iniciar la respuesta hipertrófica. No obstante, en los últimos años ha entrado en escena una nueva concepción de entrenamiento, orientada también al incremento de la hipertrofia y la fuerza muscular, denominado Entrenamiento con Restricción del Flujo Sanguíneo (ERFS), en el cual se combinan cargas bajas con restricción parcial de flujo sanguíneo.

En el presente Trabajo de fin de Grado se pretende determinar la respuesta sobre la hipertrofia de un protocolo de ERFS en jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza y cuyos objetivos están vinculados a fines estéticos. El estudio tendrá una duración de 8 semanas y participarán un total de 35 sujetos, divididos en un grupo control (GC) que no llevará a cabo ningún protocolo y un grupo de intervención que realizará un protocolo de entrenamiento de fuerza combinado con restricción de flujo sanguíneo a través del ejercicio de Curl de bíceps en banco Scott unilateral con mancuerna (GRFS). Este último grupo trabajará 3 días a la semana durante 6 semanas, a una intensidad del 30% del 1RM y con una presión de oclusión del 60% de la presión de oclusión arterial total (POAT), reservándose la primera y la sexta semana para el registro de las variables.

Palabras clave: masa muscular, entrenamiento isquémico, oclusión vascular, ERFS.

ABSTRACT

Today, increasing muscle mass is a goal pursued by millions of people around the world, regardless of whether the goals are linked to health, performance or aesthetics. Muscle hypertrophy has become the main way to achieve these goals, leading to orienting strength training to achieve them. Traditionally, high intensity strength training with loads greater than 70% of the 1RM has been chosen as the optimal training to initiate the hypertrophic response. However, in recent years a new conception of training has entered the scene, also aimed at increasing hypertrophy and muscle strength, called Blood Flow Restriction Training (BFR), in which low loads are combined with partial restriction blood flow.

In this End-of-Degree Project, it is intended to determine the response on hypertrophy of a BFR protocol in young people with previous experience in strength training and whose objectives are linked to aesthetic purposes. The study will last 8 weeks and a total of 35 subjects will participate, divided into a control group (GC) that will not carry out any protocol and an intervention group that will carry out a combined strength training protocol with blood flow restriction through the Scott Unilateral Dumbbell Bench Bicep Curl (GRFS) exercise. This last group will work 3 days a week for 6 weeks, at an intensity of 30% of the 1RM and with an occlusion pressure of 60% of the total arterial occlusion pressure, reserving the first and sixth weeks for the Recording of the variables.

Keywords: muscle mass, ischemic training, vascular occlusion, BFR.

ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA ELEGIDO.....	3
2. INTRODUCCIÓN - MARCO TEÓRICO.....	5
<i>2.1 Aumento de masa muscular e hipertrofia muscular.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2 Entrenamiento con Restricción de Flujo Sanguíneo (ERFS)</i>	<i>7</i>
2.2.1 Origen del entrenamiento con RFS	7
2.2.2 Metodología del ERFS	8
2.2.4 Ventajas y riesgos del ERFS	14
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	16
3.1 <i>Objetivo.....</i>	16
3.2 <i>Hipótesis.....</i>	16
4. MÉTODO	17
4.1 <i>Diseño del estudio.....</i>	17
4.2 <i>Muestra del estudio</i>	18
4.3 <i>Variables y medición</i>	18
4.4 <i>Intervención.....</i>	21
4.5 <i>Análisis de datos</i>	22
5. CONCLUSIONES	23
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

ABREVIATURAS

- BFR: Blood Flow Restriction Training
- ERFS: Entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo
- GC: Grupo control
- GE: Grupo experimental
- POAT: Presión de oclusión arterial total
- RFS: Restricción de flujo sanguíneo

1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA ELEGIDO

Desde pequeño he sido un apasionado de la actividad física y el deporte, practicando múltiples modalidades deportivas a lo largo de mi vida y participando en una inmensidad de actividades físicas. Comencé disfrutando del fútbol sala y el atletismo en mis primeras etapas escolares, para después dar el salto a fútbol 11 con el paso a la Educación Secundaria Obligatoria y, más tarde, descubrir el apasionante mundo del entrenamiento de fuerza orientado a la hipertrofia muscular. En mi caso, el entrenamiento de fuerza orientado a la hipertrofia muscular no solo me ha planteado una inmensidad de retos a los que enfrentarme y una enorme cantidad de experiencias mágicas e inolvidables, sino que, además, se ha convertido en una herramienta con la que trabajar y mejorar mi imagen y estética de acuerdo a mis gustos e intereses.

Durante el verano de 2019 comencé a sentir fuertes molestias en los codos, las cuales hicieron parar mis entrenamientos de fuerza de alta intensidad durante un largo periodo de tiempo. Pasado un tiempo, las molestias desaparecieron durante el día a día y las acciones de la vida cotidiana, y, sin embargo, cada vez que trataba de retomar el entrenamiento de fuerza de alta intensidad volvían a aparecer. Pasé un total de 10 meses en convivencia con estas molestias, período durante el cual busqué múltiples soluciones, como el tratamiento con diversos fisioterapeutas o el trabajo con preparadores físicos y readaptadores de lesiones.

Con el tiempo, mis metas y objetivos vinculados a la estética y la hipertrofia muscular se fueron alejando, hasta que un día, en un brote de impotencia, decidí investigar sobre alternativas de entrenamiento orientadas a la hipertrofia muscular. En ese momento, tuve la gran oportunidad de descubrir el Entrenamiento con Restricción de Flujo Sanguíneo (ERFS), método que, en colaboración a mi fisioterapeuta de confianza, supuso no solo permitirme seguir trabajando en mis objetivos de hipertrofia muscular, sino que, también logró una pronta recuperación de mi lesión.

Desde este momento supe que la temática que abordaría durante mi Trabajo de fin de Grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte estaría vinculado a este alternativo método de entrenamiento. Y aquí estamos hoy, sumergiéndome en este gran viaje en el que voy a elaborar una propuesta de intervención orientada a determinar el impacto sobre

la hipertrofia muscular de un protocolo de entrenamiento de fuerza con restricción parcial de flujo sanguíneo en jóvenes con experiencia previa en entrenamiento de fuerza cuyos objetivos están vinculados a fines estéticos.

2. INTRODUCCIÓN - MARCO TEÓRICO

2.1 Aumento de masa muscular e hipertrofia muscular

Actualmente, el aumento de la masa muscular es un objetivo perseguido por millones de personas en todo el mundo, desde culturistas, que buscan optimizar su composición corporal por razones estéticas (competición), hasta halterófilos o deportistas cuyo objetivo es mejorar su rendimiento deportivo, e incluso con fines saludables, principalmente para evitar la sarcopenia y los problemas derivados de ésta (Schoenfeld, 2010).

La búsqueda y el interés por conocer que factores provocan ese aumento de la masa muscular, sea cual sea el objetivo, se ha convertido en una auténtica necesidad. Uno de los principales procesos que facilitan el aumento de la masa muscular es la hipertrofia muscular, donde los elementos contráctiles del músculo se agrandan y la matriz extracelular se expande para apoyar este crecimiento. Llegados a este punto, es necesario diferenciar los términos de hipertrofia muscular e hiperplasia muscular, consistiendo esta última en un aumento del número de fibras dentro del músculo (Schoenfeld, 2010).

Existe un amplio consenso sobre cuáles son los factores determinantes que propician el crecimiento muscular, en este sentido, la literatura científica señala la tensión mecánica, el daño muscular y el estrés metabólico como los tres factores principales responsables de iniciar la respuesta hipertrófica (Evans, 2002; Jones y Rutherford, 1987). La tensión mecánica producida por el estiramiento de las miofibrillas y la producción de fuerza es fundamental para el crecimiento muscular (Hornberger y Chien, 2006; Vandenburg, 1987). Durante las contracciones excéntricas la tensión muscular pasiva se desarrolla, aumentando la tensión activa desarrollada por los elementos contráctiles, lo que favorece una mayor respuesta hipertrófica (Toigo y Boutellier, 2006).

En cuanto al estrés metabólico, diversos estudios han especulado que la acumulación de metabolitos puede ser más significativa que el desarrollo de grandes fuerzas en relación a optimizar la respuesta hipertrófica del entrenamiento (Schott, McCully y Rutherford, 1995; Smith y Rutherford, 1995). Los mecanismos inducidos por el estrés para mediar la respuesta hipertrófica incluyen alteraciones en el medio hormonal, producción de radicales libres e hinchazón celular (Gordon, Kraeemer, Vos, Lynch y Knuttgen, 1994; Goto, Ishii,

Kizuka y Takamatsu, 2005; Takarada, Takazawa e Ishii, 2000). También se ha planteado que una mayor acidez en el ambiente como consecuencia del entrenamiento puede desencadenar respuestas que medien un aumento de la respuesta hipertrófica adaptativa (Buresh, Berg y French, 2009).

El daño muscular es la respuesta inflamatoria aguda que deriva de la estimulación y proliferación de las células satélite, las cuáles se ha demostrado que median el crecimiento muscular, es decir, funcionando como mediadores primarios de las adaptaciones hipertróficas (Hill y Goldspink, 2003; Sinha-Hikim, Cornford, Gaytan, Lee y Bhasin, 2006; Toigo y Boutellier, 2006). Es conveniente señalar que no existen evidencias científicas que demuestren que el daño muscular sea exclusivamente el factor que determina el desarrollo muscular (Semmler, 2014).

La hipertrofia muscular inducida por los programas de entrenamiento tradicionales de fuerza se debe a un aumento tanto del número de las miofibrillas como de los sarcómeros musculares agregados en paralelo (Paul y Rosenthal, 2002). Cuando el músculo esquelético es sometido a un estímulo de sobrecarga desencadena una serie de eventos miogénicos, que conducen al aumento del tamaño y la cantidad de las proteínas miofibrilares de actina y miosina, así como del número total de sarcómeros en disposición paralela, derivando a su vez en un aumento de las fibras individuales, dando como resultado un incremento en el área de la sección transversal del músculo (Toigo y Boutellier, 2006).

Tradicionalmente se ha optado por un entrenamiento de fuerza de alta intensidad a la hora de conseguir la mayor sollicitación mecánica y neurológica del músculo, estimulando los procesos de activación y coordinación muscular, para posteriormente provocar la síntesis proteica y el anabolismo, dando como resultado un incremento de la fuerza a través de la hipertrofia muscular (Martín-Hernández, Marín y Herrero, 2011). En esta línea, el American College of Sports Medicine establece que la intensidad adecuada de entrenamiento para incrementar la fuerza máxima o el tamaño muscular debe superar el 70% del 1RM (American College of Sports, 2009).

Otras intervenciones, como la realizada por Radaelli y colaboradores (2015) han puesto el acento en el volumen de entrenamiento, produciéndose incrementos significativos tanto en la hipertrofia muscular como en el aumento de la fuerza. Sin embargo, algunas intervenciones orientadas al aumento de la frecuencia de entrenamiento no evidenciaron

diferencias significativas en relación al aumento de la masa muscular (Brigatto et al., 2019; Saric et al., 2015).

Sin embargo, partir de la década de los 60 entró en escena una nueva concepción de entrenamiento, orientada también al incremento de la hipertrofia y la fuerza muscular, denominado Entrenamiento con Restricción del Flujo Sanguíneo (ERFS), o conocido también como Blood Flow Restriction Training (BFR), que consiste en la combinación de un entrenamiento de fuerza de baja intensidad con restricción parcial de flujo sanguíneo (Martín-Hernández et al., 2011), siendo Japón su país de origen.

2.2 Entrenamiento con Restricción de Flujo Sanguíneo (ERFS)

2.2.1 Origen del entrenamiento con RFS

El entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo, también conocido como, entrenamiento oclusivo, entrenamiento con oclusión parcial vascular, Blood Flow Restriction Training (BFR) o Kaatsu Training; tiene su origen en Japón durante la década de los 60.

A finales de 1996, Yoshiaki Sato, un joven japonés apasionado por el entrenamiento de fuerza y el culturismo, recibió la inspiración del ERFS durante una ceremonia budista (Sato, 2005). Durante la misma, Sato permaneció en posición seiza, es decir, sentado sobre los talones, con las rodillas en el suelo y la espalda erguida y, tras un período prolongado de tiempo, comenzó a notar en el gemelo una hinchazón y sensación similar a la que tenía cuando realizaba extenuantes ejercicios de elevaciones de talón. Sato atribuyó la sensación a la disminución del flujo sanguíneo y teorizó que la hinchazón muscular podría ser ocasionada por la reducción de flujo sanguíneo en el músculo (Sato, 2004). Desde ese momento, Sato comenzó a experimentar con su propio cuerpo con el propósito de corroborar su hipótesis inicial y, tras ello, mejorar las técnicas y metodologías del ERFS (Sato, 2005).

No obstante, el camino de Sato para adquirir el conocimiento sobre como interactúan el entrenamiento y la presión, lo que derivarían en la metodología actual del entrenamiento kaatsu, no fue fácil. Fueron varios los errores e imprecisiones que Sato cometió hasta llegar al controlar esta novedosa metodología, llegando incluso en una ocasión a sufrir una

embolia pulmonar por ignorar el entumecimiento de la extremidad durante el ejercicio con oclusión. Tras varios trabajos de investigación, a los que se sumaron los profesores Kaijser L., Sundberg CJ. y sus compañeros (Kaijser et al., 1990), esta técnica de entrenamiento fue aumentando en popularidad, lo que, unido al deseo de explotación comercial de un producto que permitiese y facilitase entrenar cómodamente con restricción de flujo sanguíneo, llevó a Sato a patentar su método en 1997, adquiriendo el nombre de Kaatsu Training. Kaatsu es un término japonés que significa presión y hace referencia al principio del propio método, el cual consiste en la aplicación de un torniquete en la extremidad que se quiere entrenar, con el objetivo de restringir parcialmente el flujo sanguíneo en la zona. Esta restricción, combinada con un entrenamiento de baja intensidad, favorece adaptaciones positivas para el entrenado, siendo un método de entrenamiento ideal para aquellas personas que, por lo que sea, no pueden realizar entrenamientos de alta intensidad.

2.2.2 Metodología del ERFS

La literatura científica ha demostrado que el ERFS puede asociarse tanto a entrenamientos cardiovasculares como a entrenamientos orientados a la mejora de la fuerza, e incluso, en condiciones pasivas (Loenneke, Wilson, Marín, Zourdos y Bemben, 2012). En cualquiera de los tres casos, la esencia de esta metodología consistirá en la aplicación de un torniquete externo durante el ejercicio, con el objetivo de restringir parcialmente el flujo sanguíneo en la zona mientras se realizan esfuerzos musculares de baja intensidad (Scott, Loenneke, Slattery y Dascombe, 2015). En este caso, debido al objetivo del presente trabajo, nos centraremos exclusivamente en lo relativo a la aplicación de la metodología en el entrenamiento de fuerza. Para la aplicación de este método en el entrenamiento de fuerza hay que tener muy en cuenta los siguientes aspectos:

Tipo de manguito o brazalete

En los inicios del ERFS, Sato aplicaba la oclusión parcial vascular mediante cámaras neumáticas de bicicleta (Sato, 2005). A día de hoy, existen dispositivos específicos, tales como las bandas elásticas y los manguitos neumáticos inflables, que permiten generar isquemia local de una manera más controlada, segura y eficaz (Loenneke y Pujol, 2009). No obstante, pese a la popularización en Japón del uso de manguitos elásticos automatizados,

puede ser más práctico, sobre todo cuando el ERFs se aplica en grandes grupos, el uso de simples bandas elásticas o de manguitos neumáticos inflables, siendo estos últimos los más destacados puesto que permiten un control mayor de la presión (Loenneke y Pujol, 2009).

Con respecto a los aspectos determinantes de los manguitos, diferentes estudios han demostrado que el ancho del manguito es uno de los factores más importantes a considerar durante el ERFs (Fah, Loenneke, Rossow, Tiebaud y Bemben, 2012; Scott et al., 2015). En esta línea, existe consenso en relación a que los manguitos anchos restringen el flujo sanguíneo de las arterias a presiones más bajas, y a que se han de usar manguitos más anchos (4,5-18,5 cm) para las extremidades inferiores y más estrechos (3-12 cm) para las extremidades superiores (Fahs et al., 2012). Esto se debe a que, los manguitos anchos aplicados a las extremidades superiores pueden limitar el rango de movimiento; del mismo modo que, los manguitos estrechos pueden, en ocasiones, no llegar a facilitar la oclusión deseada en las extremidades inferiores (Loenneke et al., 2013). Por otro lado, se ha demostrado que el material del que estén compuestos los manguitos, ya sea nylon o elástico, no parece afectar a la presión de restricción (Loenneke et al., 2014).

Presión de hinchado del manguito

Pese a que las primeras investigaciones aplicaron presiones de oclusión de un máximo de 200 mmHg, en la actualidad se sostiene que la presión ha de ser lo suficientemente alta para ocluir el retorno venoso, pero permitiendo el flujo sanguíneo arterial en el músculo (Loenneke, Thiebaud, Abe y Bemben., 2014). En este sentido, la lógica dicta que no puede establecerse una presión absoluta universal para todos, debiendo variar para cada individuo (Loenneke et al., 2013). En esta línea, se sostiene que la presión aplicada dependerá tanto del tamaño de la extremidad como del ancho del manguito (Loenneke et al., 2012). Pese a esto, algunas investigaciones han intentado estandarizar las presiones de oclusión en relación a la presión arterial sistólica braquial (Manini, et al., 2011; Cook, Clark y Ploutz-Snyder, 2007). Sin embargo, no hay evidencias que sugieran que esto proporcione una buena estimación de las presiones de oclusión de las extremidades inferiores.

Para tener en cuenta estas diferencias individuales que hemos mencionado anteriormente, algunos investigadores han implementado el ERFs como un porcentaje de la presión de oclusión arterial total. Laurentino et al. (2012) determinaron la presión a la que desaparecía el suministro de sangre arterial para el muslo, y posteriormente empleó el 80% de este

valor como presión de oclusión para el ejercicio con cargas bajas. Los resultados demostraron respuestas hipertróficas y de fuerza similares a las del entrenamiento tradicional con cargas altas. En esta misma línea, estudios recientes han demostrado que aplicar una presión del 50% de la presión de oclusión arterial parece maximizar la hinchazón muscular aguda, la amplitud de la electromiografía y las respuestas de lactato en sangre, cuando se combina con entrenamientos con cargas bajas (Loenneke et al., 2015).

Por todo lo mencionado anteriormente, es complicado hacer recomendaciones sobre la presión óptima de oclusión durante el ERFS y requiere seguir investigándose. Pese a esto, parece que una presión entre el 40% y el 80% de la presión de oclusión arterial total, es la apropiada para el ejercicio con cargas bajas (Lima-Soares et al., 2021). También se concluye que el ancho del manguito y el tamaño de la articulación son determinantes a la hora de establecer a presión.

Tipo de ejercicio

Se ha demostrado que la restricción de flujo sanguíneo sola durante períodos de descargar o recuperación, pueden atenuar la atrofia generada (Kubota, Sakuraba, Koh, Ogura y Tamura, 2011; Takarada, 2000). No obstante, la restricción de flujo sanguíneo (RFS) debe combinarse con estímulos de ejercicio para que se dé la hipertrofia muscular. Por otro lado, diferentes investigaciones (Abe, Kearns y Sato, 2006; Ozaki et al., 2011; Scott et al., 2015) han demostrado que, la RFS combinada con esfuerzos de baja intensidad caminando y en bicicleta, pueden producir pequeñas mejoras en el tamaño y fuerza de los músculos. Sin embargo, parece que la RFS proporciona ganancias musculares y de fuerza más significativas cuando se combina con entrenamiento de fuerza de baja intensidad.

Por su parte, la elección del ejercicio a realizar dependerá del objetivo que se plantee. Algunos ejemplos son: flexión y extensión de codo, flexión y extensión de rodilla o prensa de pierna.

Intensidad del ejercicio

La literatura científica establece que las cargas óptimas para alcanzar los mayores beneficios a nivel de fuerza e hipertrofia cuando se combina con RFS son de entre el 20 y el

40% del 1RM (Abe et al., 2012; Laurentino et al., 2012; Loenneke, et al., 2012). En esta línea, los investigadores señalan otros beneficios del ERFS combinado con bajas cargas: no ocasionar ni daño del músculo esquelético, ni una disminución prolongada de la función muscular, ni altas calificaciones exageradas de dolor muscular (Loenneke, Thiebaud y Abe, 2014).

Volumen de entrenamiento

El volumen de entrenamiento tiene un gran efecto en las adaptaciones del entrenamiento de fuerza (Bird, Tarpinning y Marino, 2005). De manera general, debido a la relación inversa entre la carga aplicada y el número de repeticiones que se pueden alcanzar por serie, el ERFS implica un mayor número de repeticiones por serie que el entrenamiento tradicional de fuerza de alta intensidad.

La investigación aplica normalmente volúmenes de entre 45 y 75 repeticiones del ejercicio seleccionado por sesión (Martín-Hernández et al., 2013a; Martín-Hernández et al., 2013b; Madarame y col., 2008; Weatherholt, 2013; Yasuda, Loenneke, Thiebaud y Abe, 2012). En cuanto a la distribución de las repeticiones en series, y pese a que varias investigaciones han combinado la RFS con ejercicio al fallo, se ha demostrado que el ERFS de baja carga puede aumentar significativamente el tamaño del músculo y la fuerza sin necesidad de entrenar hasta el fallo, pudiendo esto aumentar los marcadores fisiológicos del entrenamiento (Loenneke et al., 2012).

El protocolo que se ha convertido últimamente en el estándar en las investigaciones consiste en la realización de una serie de 30 repeticiones seguida de 3 series de 15 repeticiones, con un descanso de entre 30 y 60 segundos entre series y sumando un total de 75 repeticiones para la sesión (Scott et al., 2015). Pese a que aún no se ha estabilizado este protocolo de ERFS como el óptimo, se ha demostrado que este esquema de repetición aumenta la fuerza y tamaño muscular sin aumentar los índices de daño muscular (Wilson, Lowery, Joy y col., 2013). En esta misma línea, Martín-Hernández y colaboradores (2013a), han demostraron que duplicar el volumen de este protocolo no genera efectos adicionales a las respuestas

adaptativas del mismo.

Frecuencia de entrenamiento

La literatura científica ha demostrado que el entrenamiento de fuerza de baja intensidad combinado con RFS se puede realizar con una mayor frecuencia que el entrenamiento tradicional de alta intensidad, debido a que, este tipo de entrenamiento no causa disminuciones prolongadas en la función muscular, hinchazón prolongada de los músculos o el aumento de los indicadores de daño muscular (Loenneke, Thiebaud, Abe y col., 2014). De hecho, diversas investigaciones han llegado a aplicar protocolos de 2 sesiones diarias durante una o dos semanas, obteniendo resultados de mejoría de fuerza e hipertrofia comparables a protocolos de más larga duración con volumen y cargas mayores (Abe et al., 2005).

No obstante, Scott et al., (2015) realizaron un resumen de recomendaciones para la aplicación de restricción del flujo sanguíneo durante el entrenamiento de resistencia orientado a la mejora de fuerza e hipertrofia. En el señalaban que la frecuencia de entrenamiento estándar era de 2 a 3 sesiones semanales para poblaciones clínicas y de 2 a 4 sesiones semanales para la población atlética, además de las pertinentes sesiones de entrenamiento de alta intensidad.

Descanso entre series

El descanso entre series durante el ERFS orientado a la hipertrofia y mejora de fuerza, no debe estar estructurado para garantizar la fuerza y potencia en series posteriores como es común en entrenamientos de fuerza máxima, sino que, debe estar orientado a potenciar las respuestas fisiológicas que se tienen por objetivo (Bird, Tarpinning y Marino, 2005; Tan, 1999). En esta misma línea, existe un consenso en relación a que se debe mantener la oclusión durante los períodos de descanso con el objetivo de amplificar aún más el grado de estrés metabólico y potenciar estas respuestas fisiológicas (Yasuda et al., 2010). De acuerdo a lo anteriormente mencionado, la gran mayoría de investigaciones emplean descansos de entre 30 y 60 segundos entre series en entrenamiento de fuerza combinado

con RFS.

2.2.3 Fundamentos fisiológicos del ERFS

La literatura científica ha demostrado ampliamente que el entrenamiento de fuerza de baja intensidad combinado con RFS tiene amplios beneficios en relación a respuestas hipertróficas y mejora de la fuerza. No obstante, los mecanismos responsables de dichas respuestas no están del todo definidos. Pese a ello, diferentes autores han tratado de exponer estos posibles mecanismos que son enumerados a continuación:

➤ Incremento de la respuesta hormonal anabólica

El ERFS incrementa significativamente la liberación de hormonas que presentan una potente acción sobre el crecimiento muscular, como la hormona del crecimiento (GH), el factor de crecimiento de la insulina (IGF-1) y noradrenalina (NA) (Loenneke, Wilson y Wilson, 2010; Loenneke y Pujol, 2009).

➤ Acumulación de metabolitos que acidifican el entorno y facilitan la producción de hormona del crecimiento

El ERFS incrementa la acidez intramuscular debido a la acumulación de metabolitos de desecho en la zona ocluida, lo que podría ser la causa del incremento en la producción de la GH (Loenneke y Pujol, 2009; Takarada et al., 2000).

➤ Mayor reclutamiento de las fibras rápidas

El ERFS deriva a un estado hipóxico que implica un mayor consumo metabólico, produciéndose así una respuesta compensatoria que consiste en el reclutamiento de nuevas fibras rápidas, las cuales tienen un mayor potencial hipertrófico y una mayor capacidad para generar fuerza (Loenneke y Pujol, 2009; Wernbom, Augustsson y Raastad, 2008).

➤ Incremento de la síntesis proteica

La tensión mecánica que desencadena el ERFS induce a un desequilibrio y estrés que activa una serie de señalizaciones intracelulares que incrementarán la síntesis de

proteínas y el crecimiento muscular (Spiering et al., 2008; Tidball, 2005).

2.2.4 Ventajas y riesgos del ERFS

Riesgos propios del ERFS

El ERFS es un modelo de entrenamiento muy estudiado y con una gran evidencia científica sobre su viabilidad y seguridad. Pese a ello, a día de hoy, el ERFS sigue generando cierta incertidumbre e inquietudes relativas a la posibilidad de aparecer ciertos efectos adversos como consecuencia su aplicación (Manini y Clark, 2009). Actualmente, las principales reticencias sobre posibles efectos adversos del ERFS están dirigidas a la aparición de varices o hemorragias subcutáneas, el aumento del daño muscular, el entumecimiento y alteraciones de la función nerviosa, los desmayos o síncope y la posible aparición de trombos o embolia pulmonar (Chulvi, 2011; Loenneke et al., 2011; Martín-Hernández et al., 2011; Nakajima et al., 2006).

No obstante, la investigación más importante en la valoración del riesgo del ERFS, analizó la incidencia de efectos adversos en 105 centros en Japón que realizaban entrenamientos con RFS (Nakajima et al., 2006). Se realizó una encuesta a un total de 13.000 individuos y la tasa de incidencia de efectos secundarios resultó ser muy baja. El efecto adverso más observado fue la aparición de hemorragias subcutáneas (13,1 %), mientras que otros efectos adversos más graves presentaron una tasa de incidencia muy baja: embolia pulmonar (0,008%) y trombos venosos (0,055%).

Con respecto al aumento del daño muscular, y como se ha mencionado con anterioridad a lo largo del trabajo, el ERFS se caracteriza por ocasionar un daño muscular menor y tener calificaciones del dolor menores que el entrenamiento tradicional de alta intensidad (Loenneke et al., 2014).

Finalmente, con respecto al entumecimiento y los desmayos o síncope, los investigadores señalan que estos surgirían como consecuencia de una incorrecta aplicación de ERFS, empleando presiones de oclusión superiores a las recomendadas (Nakajima et al., 2006).

Ventajas del ERFS

A continuación, se recoge una enumeración de las principales ventajas del ERFS mencionadas por algunos de los autores e investigaciones (Abe et al., 2005; Takarada et al., 2000):

- EL ERFS se puede aplicar en personas que, de algún modo, son incapaces de llevar a cabo esfuerzos máximos o entrenamientos de alta intensidad. El ERFS se puede aplicar en personas con un amplio rango de edad desde jóvenes a ancianos, pasando por adultos; y en personas que presentan alguna patología o lesión y están limitadas biomecánicamente por ello.
- El ERFS proporciona en tiempos muy acotados beneficios a nivel estructural vinculados con la hipertrofia y el crecimiento muscular (a partir de 2 semanas).
- El ERFS produce un aumento de 290 veces de la concentración plasmática de GH, frente a un aumento de 100 veces del entrenamiento tradicional de alta intensidad. Además, con ERFS no se produce un daño tisular considerable.
- Durante el ERFS las fibras rápidas son reclutadas a intensidades bajas mientras que en el entrenamiento tradicional solo se reclutan a medida que la intensidad va en incremento.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo

- Determinar el impacto sobre la hipertrofia muscular de un protocolo de entrenamiento de fuerza con restricción parcial de flujo sanguíneo en jóvenes con experiencia previa en entrenamiento de fuerza.

3.2 Hipótesis

- El programa de ERFS supondrá ganancias significativas de masa muscular en jóvenes sin experiencia previa en entrenamiento de fuerza.

4. MÉTODO

4.1 Diseño del estudio

El presente estudio, siguiendo un diseño aleatorizado y controlado, contará con un grupo control y un grupo experimental. El grupo experimental realizará un protocolo de entrenamiento de fuerza de baja intensidad con restricción parcial de flujo sanguíneo (GRFS), y el ejercicio seleccionado será el Curl de bíceps en banco Scott unilateral con mancuerna. Por su parte, el grupo control (GC) no llevará a cabo ningún protocolo de entrenamiento.

El estudio tendrá una duración total de 8 semanas, empleando las dos sesiones de la primera de ellas para la toma de variables de ambos grupos y la familiarización con los materiales y el ejercicio por parte del GRFS. Las siguientes 6 semanas se reservarán para la aplicación del protocolo de entrenamiento por parte del GRFS, distribuyéndose 3 sesiones por semana, intercalando un día de descanso entre cada una de ellas y comenzando la primera sesión 72 horas después de la última sesión de familiarización. Finalmente, la última semana del estudio contará con una sola sesión donde se realizará nuevamente la medición de las variables a fin de determinar el impacto del protocolo de entrenamiento. Este último registro de variables tendrá lugar 144 horas después de la última sesión de entrenamiento del GRFS, descartando de esta manera que las ganancias musculares pueden ser en parte debidas a edema agudo, y en consonancia a otras investigaciones que han demostrado mejoras pasadas entre 2 y 10 días desde el final del entrenamiento (Patterson et al., 2019).

Con respecto a la toma de variables, el espesor del tejido adiposo de los pliegues bicipital y tricipital y los diámetros del brazo en relajación y contracción se medirán en ambos grupos (GC y GRFS) durante la primera y la última sesión del estudio. Por su parte, la medición del valor del 1RM para el ejercicio seleccionado y de la POAT, se medirá exclusivamente en el GRFS durante la segunda sesión de la primera semana.

El espesor del tejido adiposo de los pliegues bicipital y tricipital en ambos brazos, el 1RM en ambos brazos para el ejercicio de ejercicio Curl de bíceps en banco Scott unilateral con mancuerna y el valor de presión de oclusión arterial total (POAT).

4.2 Muestra del estudio

Un total de 35 jóvenes universitarios cursando el primer curso del Grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza y con el objetivo de aumentar la masa muscular con fines estéticos, serán distribuidos aleatoriamente en el GC y GRFS. Los criterios de inclusión para la selección de los participantes serán ser jóvenes sanos cursando en el primer curso del Grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, con una edad comprendida entre los 18 y los 24 años y tener experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Por su parte, los criterios de exclusión serán la presencia de lesiones músculo esqueléticas, enfermedades del sistema cardiovascular o alguna de las contraindicaciones propias del ERFS, tales como la trombosis, varices exageradas en la zona a ocluir o hipertensión no controlada y la presencia en la dieta de cualquier tipo de suplementación que ayude a la hipertrofia muscular. Una vez seleccionados los 35 sujetos que participarán en el estudio, se distribuirán en el GC y GRFS por muestreo aleatorio simple apoyándose en la herramienta WinEpi 2.0 (<http://www.winepi.net/menu1.php>).

Todos los sujetos serán informados previamente de los procedimientos experimentales, los objetivos de la investigación y de los beneficios y posibles riesgos del estudio, antes de entregar firmado el consentimiento informado para su participación. El protocolo de intervención será enviado para su aprobación al Comité de Ética en Investigación de la Universidad Pontificia Comillas y el estudio se realizará de acuerdo a la Declaración de Helsinki.

4.3 Variables y medición

Las variables que se medirán durante este estudio serán el perímetro de ambos brazos relajados y en contracción, el espesor del tejido adiposo de los pliegues bicipital y tricipital en ambos brazos, el 1RM en ambos brazos para de ejercicio Curl de bíceps en banco Scott unilateral con mancuerna y el valor de presión de oclusión arterial total (POAT). En este sentido, las variables que determinarán el impacto del protocolo de intervención serán los perímetros del brazo y el espesor del tejido adiposo de los pliegues bicipital y tricipital, al analizar si tras la intervención ha aumentado el perímetro del brazo, y empleando la

plicometría para comprobar que el aumento no fuese de grasa, sugiriendo que sería de masa muscular.

Por otro lado, el 1RM se medirá para determinar la carga de trabajo y la POAT para determinar la presión de oclusión del entrenamiento para cada sujeto.

Con respecto a la medición de los perímetros del brazo, se empleará la cinta métrica antropométrica de precisión milimétrica SECA 201. En primer lugar, se llevará a cabo la medición del perímetro del brazo derecho relajado y después contraído, y tras ello, se procederá a tomar las mediciones de igual forma en el brazo izquierdo. Una vez tomadas las medidas de ambos brazos se procederá a realizar una segunda medición, a fin de descartar posibles errores durante la primera toma de medidas. Los valores registrados serán la media de los resultados de las dos mediciones. Para la medida del perímetro del brazo relajado solicitaremos al sujeto que adopte la posición anatómica al mismo tiempo que trata de relajar los brazos. Tras ello, se señalará con un rotulador la marca mesobraquial, correspondiéndose con el punto medio entre el acromion en su punto más superior y externo y la cabeza del radio en su punto lateral y externo, siendo importante tener cuidado con la curvatura del deltoides durante la medición. Una vez esta señalizada la marca, se procederá a tomar a realizar la medición a la altura de la misma. Por su parte, para la medición del perímetro del brazo contraído, se pedirá al sujeto que realice una ligera elevación de hombro a la par que realiza una flexión de codo de 90. Una vez adoptada esta posición, se solicitará al sujeto que realice una contracción máxima del bíceps y se procederá con la medición a la altura de la máxima protuberancia del bíceps.

Por otro lado, para la medición del espesor del tejido adiposo de los pliegues bicipital y tricipital, al igual que la variable anterior se empleará el plicómetro Lange, anteriormente utilizado por Weatherholt et al. (2013) realizándose dos mediciones de cada pliegue. Primero se medirá el pliegue bicipital y tricipital del brazo derecho y después del izquierdo, para posteriormente repetir el procedimiento. En cada una de las mediciones, se leerá la marca del plicómetro 4 segundos después de que las puntas del mismo hayan sido aplicadas al pliegue cutáneo, ya que, cuando el plicómetro es aplicado a un pliegue, la lectura del plicómetro disminuye a medida que sus puntas comprimen el pliegue de piel y el tejido adiposo subcutáneo. Los valores registrados serán la media de los dos resultados obtenidos. La medición del pliegue bicipital se realizará en la cara interna del brazo a la

altura de la misma marca mesobraquial que marcamos en la medición del perímetro del brazo relajado, y se pedirá al sujeto que, de pie, mantenga el brazo relajado con una ligera rotación externa del hombro y el codo extendido. Por su parte, el pliegue tricaptal se medirá a la altura de la marca mesobraquial en la cara posterior del brazo y nuevamente se pedirá al sujeto que, de pie, mantenga el brazo relajado con una ligera rotación externa del hombro y el codo extendido.

Para determinar el 1RM para el ejercicio de ejercicio Curl de bíceps en banco Scott unilateral con mancuerna y, teniendo en cuenta la inexperiencia de los participantes en el entrenamiento de fuerza, se realizará de manera indirecta, evitando así el riesgo de ocasionar lesiones. Tras la familiarización con el ejercicio durante la primera sesión y la primera mitad de la segunda, los participantes seleccionarán un peso con el que se sientan cómodos y estimen que puedan realizar 10 repeticiones, sin poder realizar una undécima. Una vez seleccionado el peso, los sujetos iniciarán una serie en la que tendrán que realizar las máximas repeticiones de calidad posibles, incidiendo en la técnica y velocidad de ejecución. Teniendo en cuenta la carga empleada y el número de repeticiones que hayan realizado, se determinará el 1RM empleando la fórmula de Brzycki (1993):

$$1RM = Kg / (1,0278 - 0,0278 * rep)$$

Finalmente, para determinar la presión de oclusión que ejercerá el manguito en cada sujeto durante el entrenamiento, primeramente, habrá que calcular su POAT. De manera general, esta medición se ha venido realizando con Dopplers de ultrasonido. Sin embargo, una nueva metodología de medición más simple ha comenzado a cobrar protagonismo en las últimas investigaciones en este campo, tratándose de realizar esta medición con un oxímetro de pulso portátil (Lima-Soares et al., 2021).

Para realizar esta medición, se pedirá a los sujetos que se sienten en una silla y, tras cinco minutos de reposo, con el brazo derecho en decúbito supino, se aplicará un manguito neumático (RiesterKomprimeter, Riester, Jungingen, Germany) empleado en investigaciones previas (Martín-Hernández et al., 2012a; Martín-Hernández et al., 2012b) y el pulsioxímetro (Oxy control, Geratherm, Germany). Se inflará el manguito a 50 mmHg y la presión se irá aumentando 10 mmHg con 5 segundos entre cada valor. Se aumentará la presión hasta que el pulso auscultatorio no se refleje en el pulsioxímetro, determinando este valor como la POAT. Una vez determinada la POAT, se determinará la presión

oclusión que ejercerá el manguito, siendo esta el 60% de la POAT, de acuerdo a la literatura científica que señala las presiones del 40-80% de la POAT como las óptimas para las adaptaciones musculares (Lima-Soares et al., 2021).

4.4 Intervención

Grupo Experimental: Curl de bíceps en banco Scott unilateral con mancuerna, combinando con restricción parcial de flujo sanguíneo (GRFS)

Las sesiones iniciarán con un breve calentamiento específico, en el que los participantes realizarán una serie de 12 repeticiones con cada brazo, sin oclusión, con una intensidad del 30% 1RM y una velocidad de ejecución de 2 segundos para la fase concéntrica y otros 2 segundos para la fase excéntrica. Tras ello, se instrumentará el manguito en el brazo derecho, ubicándose en el extremo proximal de la extremidad y aplicándose la presión de oclusión determinada para cada sujeto en la primera visita experimental. Se realizarán, con el brazo derecho, 1 serie de 30 repeticiones y 3 series de 15 repeticiones del ejercicio Curl de bíceps en banco Scott unilateral con mancuerna, a una intensidad del 30% del 1RM y con una restricción de flujo sanguíneo del 60% de la POAT. Los tiempos de ejecución serán de 2 segundos para la fase concéntrica y otros dos segundos para la fase excéntrica. El descanso entre series será de 1 minuto manteniendo la oclusión. Una vez completadas las cuatro series con el brazo derecho, se instrumentará el manguito en el brazo izquierdo y se procederá a realizar la misma secuencia de series. A continuación, se muestra en la Tabla 1 un esquema de la intervención:

Tabla 1. Esquema de sesión de entrenamiento

-
1. Calentamiento (1 x 12 x 30% 1RM 2"/2" ambos brazos).
 2. Instrumentación del manguito y aplicación de la presión en el brazo derecho.
 3. (1 x 30 x 15 x 30%RM x 60%RFS 2"/2" r'=1') + (3 x 15 x 30%RM x 60%RFS 2"/2" r'=1') brazo derecho.
 4. Instrumentación del manguito y aplicación de la presión en el brazo izquierdo.
 5. (1 x 30 x 15 x 30%RM x 60%RFS 2"/2" r'=1') + (3 x 15 x 30%RM x 60%RFS 2"/2" r'=1') brazo izquierdo.
-

4.5 Análisis de datos

El análisis de datos se realizará con la versión 25.0 de IBM SPSS para Windows (IBM Corporation, Armonk, NY, USA). El supuesto de normalidad se comprobará mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se realizarán ANOVAS 2 x 2 para evaluar el efecto del tipo de entrenamiento (factor inter-sujetos) y del momento de la evaluación (factor intra-sujetos) sobre la hipertrofia muscular. Como índice de tamaño del efecto se utilizará eta cuadrado (η^2). La interpretación de η^2 se basará en los siguientes valores: $<0,06$ pequeño, $\geq 0,06$ hasta $<0,14$ medio y $\geq 0,14$ grande (Cohen, 1988). Los datos descriptivos se presentarán como media (M) y desviación estándar (DE). El nivel de significación se fijará en 0,05.

5. CONCLUSIONES

Dada la naturaleza de la investigación no será posible corroborar la hipótesis planteada en el mismo, así como establecer otras conclusiones más vinculadas a la ciencia. Por su parte, como principal limitación del estudio se señala la posibilidad de que las variables que determinarán el impacto del protocolo, es decir, los diámetros del brazo relajado y contraído y el espesor del tejido adiposo de los pliegues bicipital y tricipital, no son las más adecuadas o exactas para ello. En este sentido, estas variables serían determinadas con una mayor exactitud a través de resonancia magnética o ecografía, pero, debido a su elevado coste económico, se ha optado por otras vías alternativas.

Como principal fortaleza del estudio destaca la gran evidencia científica sobre la que está basada la propuesta de intervención, siendo múltiples las investigaciones y autores que determinan como ha de aplicarse esta metodología, así como, la viabilidad, seguridad y efectividad de este método de entrenamiento alternativo.

Por otro lado, me gustaría señalar que, gracias a la realización de este Trabajo de Fin de Grado, he tenido la oportunidad de dar un paso más en mi desarrollo personal, sumergiéndome en un proyecto que me ha ofrecido la oportunidad de fortalecer mis conocimientos sobre el que considero que es un método de entrenamiento que revolucionará el mundo del entrenamiento de fuerza en poco tiempo, si es que no lo ha revolucionado ya. El estar plenamente inmerso en este proyecto, me ha ofrecido la oportunidad de modificar mi método de trabajo, aprendiendo no solo a justificar y enmarcar mis propuestas e iniciativas en relación a una gran base científica, sino también, a disfrutar del camino de una gran meta fijada a largo plazo.

Finalmente, me gustaría agradecer a Txomin Pérez Bilbao, mi director de TFG, el cual no solo me ha acompañado y guiado en esta increíble experiencia, sino que, además, ha marcado en mi grandes lecciones de vida de manera indirecta, las cuales me han hecho evolucionar a nivel personal y profesional.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe, T., Kearns, C. F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *Journal of applied physiology*, 100(5), 1460-1466.
- Abe, T., Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow–restricted limbs and non-restricted muscles: a brief review. *Clinical physiology and functional imaging*, 32(4), 247-252.
- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., CF, K., Inoue, K., ... & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 6-12.
- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(3), 687-708.
- Bird, S. P., Tarpinning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness. *Sports medicine*, 35(10), 841-851.
- Brigatto, F. A., Braz, T. V., da Costa Zanini, T. C., Germano, M. D., Aoki, M. S., Schoenfeld, B. J., ... & Lopes, C. R. (2019). Effect of resistance training frequency on neuromuscular performance and muscle morphology after 8 weeks in trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(8), 2104-2116.
- Brzycki, M. (1993). Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of physical education, recreation & dance*, 64(1), 88-90.
- Buresh, R., Berg, K., & French, J. (2009). The effect of resistive exercise rest interval on hormonal response, strength, and hypertrophy with training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 62-71.
- Chulvi-Medrano, I. (2011). Entrenamiento de fuerza combinado con oclusión parcial superimpuesta. Una revisión. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(3), 121-128.

- Cook, S. B., Clark, B. C., & Ploutz-Snyder, L. L. (2007). Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(10), 1708-1713.
- Evans, W. J. (2002). Effects of exercise on senescent muscle. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 403, S211-S220.
- Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Rossow, L. M., Tiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology*, 1(1), 14-22.
- Gordon, S. E., Kraemer, W. J., Vos, N. H., Lynch, J. M., & Knuttgen, H. G. (1994). Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high-intensity cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76(2), 821-829.
- Hill, M., & Goldspink, G. (2003). Expression and splicing of the insulin-like growth factor gene in rodent muscle is associated with muscle satellite (stem) cell activation following local tissue damage. *The Journal of physiology*, 549(2), 409-418.
- Hornberger, T. A., & Chien, S. (2006). Mechanical stimuli and nutrients regulate rapamycin-sensitive signaling through distinct mechanisms in skeletal muscle. *Journal of cellular biochemistry*, 97(6), 1207-1216.
- Jones, D. A., & Rutherford, O. M. (1987). Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *The Journal of physiology*, 391(1), 1-11.
- Kajiser, L., Sundberg, C. J., Eiken, O., Nygren, A. N. D. E. R. S., Esbjornsson, M., Sylven, C., & Jansson, E. (1990). Muscle oxidative capacity and work performance after training under local leg ischemia. *Journal of Applied Physiology*, 69(2), 785-787.
- Kubota, A., Sakuraba, K., Koh, S., Ogura, Y., & Tamura, Y. (2011). Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. *Journal of science and medicine in sport*, 14(2), 95-99.
- Laurentino, G. C., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Aoki, M. S., Soares, A. G., Neves Jr, M., ... & Tricoli, V. (2012). Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc*, 44(3), 406-12.
- Lima-Soares, F., Pessoa, K. A., Cabido, C. E. T., Lauver, J., Cholewa, J., Rossi, F., & Zanchi, N. E. (2021). Determining the arterial occlusion pressure for blood flow

restriction: Pulse oximeter as a new method compared with a handheld Doppler.

The Journal of Strength & Conditioning Research.

- Loenneke, J. P., & Pujol, T. J. (2009). The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*, 31(3), 77-84.
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., ... & Bemben, M. G. (2012). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European journal of applied physiology*, 112(8), 2903-2912.
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., Mattocks, K. T., Abe, T., & Bemben, M. G. (2013). Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs. *Frontiers in physiology*, 4, 249.
- Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C. A., Thiebaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., ... & Bemben, M. G. (2015). Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle & nerve*, 51(5), 713-721.
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2014). Does blood flow restriction result in skeletal muscle damage? A critical review of available evidence. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(6), e415-422.
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Abe, T., & Bemben, M. G. (2014). Blood flow restriction pressure recommendations: the hormesis hypothesis. *Medical hypotheses*, 82(5), 623-626.
- Loenneke, J., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2014). Blood flow restriction: effects of cuff type on fatigue and perceptual responses to resistance exercise. *Acta Physiologica Hungarica*, 101(2), 158-166.
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2013). Effect of cuff type on arterial occlusion. *Clinical physiology and functional imaging*, 33(4), 325-327.
- Loenneke, J. P., Kim, D., Mouser, J. G., Allen, K. M., Thiebaud, R. S., Abe, T., & Bemben, M. G. (2016). Are there perceptual differences to varying levels of blood flow restriction?. *Physiology & behavior*, 157, 277-280.
- Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood

flow occlusion. *International journal of sports medicine*, 31(01), 1-4.

- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marín, P. J., Zourdos, M. C., & Bemben, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *European journal of applied physiology*, 112(5), 1849-1859.
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Wilson, G. J., Pujol, T. J., & Bemben, M. G. (2011). Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(4), 510-518.
- Loenneke, J., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2014). Blood flow restriction: effects of cuff type on fatigue and perceptual responses to resistance exercise. *Acta Physiologica Hungarica*, 101(2), 158-166.
- Madarame, H., Neya, M., Ochi, E., Nakazato, K., Sato, Y., & Ishii, N. (2008). Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 40(2), 258.
- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exercise and sport sciences reviews*, 37(2), 78-85.
- Manini, T. M., Vincent, K. R., Leeuwenburgh, C. L., Lees, H. A., Kavazis, A. N., Borst, S. E., & Clark, B. C. (2011). Myogenic and proteolytic mRNA expression following blood flow restricted exercise. *Acta physiologica*, 201(2), 255-263.
- Martín-Hernández, J., Marín, P. J., Menéndez, H., Ferrero, C., Loenneke, J. P., & Herrero, A. J. (2013a). Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(2), e114-e120.
- Martín-Hernández, J., Marín, P. J., & Herrero, A. J. (2011). Revisión de los procesos de hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento de fuerza oclusivo. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(4), 152-157.
- Martín-Hernández, J., Marín, P., Menéndez, H., Loenneke, J., Coelho-e-Silva, M., Garcia-Lopez, D., & Herrero, A. (2013b). Changes in muscle architecture induced by low load blood flow restricted training. *Acta Physiologica Hungarica*, 100(4), 411-418.
- Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., ... & Nagata, T. (2006). Use and safety of KAATSU training: results of a national

survey. *International journal of KAATSU training research*, 2(1), 5-13.

Ozaki, H., Sakamaki, M., Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sugaya, M., ... & Abe, T. (2011). Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 66(3), 257-263.

Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., ... & Loenneke, J. (2019). Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in physiology*, 10, 533.

Paul, A. C., & Rosenthal, N. (2002). Different modes of hypertrophy in skeletal muscle fibers. *Journal of Cell Biology*, 156(4), 751-760.

Radaelli, R., Fleck, S. J., Leite, T., Leite, R. D., Pinto, R. S., Fernandes, L., & Simão, R. (2015). Dose-response of 1, 3, and 5 sets of resistance exercise on strength, local muscular endurance, and hypertrophy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1349-1358.

Reina-Ramos, C., & Herrera, R. D. (2014). Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo e hipertrofia muscular. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 10(38), 366-382.

Rossow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clinical physiology and functional imaging*, 32(5), 331-337.

Saric, J., Lisica, D., Orlic, I., Grgic, J., Krieger, J. W., Vuk, S., & Schoenfeld, B. J. (2019). Resistance training frequencies of 3 and 6 times per week produce similar muscular adaptations in resistance-trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33, S122-S129.

Sato, Y. (2004). History and recent progress of KAATSU resistance training. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 21, 209-213.

Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 1-5.

Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10),

2857-2872.

- Schott, J., McCully, K., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 71(4), 337-341.
- Semmler, J. G. (2014). Motor unit activity after eccentric exercise and muscle damage in humans. *Acta Physiologica*, 210(4), 754-767.
- Sinha-Hikim, I., Cornford, M., Gaytan, H., Lee, M. L., & Bhasin, S. (2006). Effects of testosterone supplementation on skeletal muscle fiber hypertrophy and satellite cells in community-dwelling older men. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 91(8), 3024-3033.
- Smith, R. C., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 71(4), 332-336.
- Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Nindl, B. C., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2008). Resistance exercise biology. *Sports Medicine*, 38(7), 527-540.
- Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of applied physiology*, 88(1), 61-65.
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusions diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(12), 2035-2039.
- Tan, B. (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 289-304.
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European journal of applied physiology*, 97(6), 643-663.
- Vandenburgh, H. H. (1987). Motion into mass: how does tension stimulate muscle growth?. *Medicine and science in sports and exercise*, 19(5 Suppl), S142-9.

- Weatherholt, A., Beekley, M., Greer, S., Urtel, M., & Mikesky, A. (2013). Modified Kaatsu training: adaptations and subject perceptions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(5), 952-961.
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Raastad, T. (2008). Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise?. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18(4), 401-416.
- Wilson, J. M., Lowery, R. P., Joy, J. M., Loenneke, J. P., & Naimo, M. A. (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(11), 3068-3075.
- Yasuda, T., Abe, T., Brechue, W. F., Iida, H., Takano, H., Meguro, K., ... & Nakajima, T. (2010). Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism*, 59(10), 1510-1519.
- Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2012). Effects of blood flow restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *Plos one*, 7(12), e52843.

