

Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo e hipertrofia muscular **Blood flow restriction training and muscle hypertrophy**

Carlos Reina-Ramos y Raúl Domínguez
Universidad Alfonso X El Sabio

Resumen

El entrenamiento de fuerza orientado a aumentar la masa muscular se ha convertido en un objetivo común en programas de entrenamiento tanto en deportistas de alto rendimiento como en personas que realizan programas de actividad física con objetivo de mejorar su salud o calidad de vida. Generalmente, el trabajo de fuerza orientado hacia la hipertrofia muscular se ha asociado con la utilización de altas cargas de trabajo (70-85% de 1 RM). Actualmente, se ha propuesto que el entrenamiento de fuerza con cargas de tan solo el 20% de 1 RM realizadas en condiciones de restricción del flujo sanguíneo podría provocar incrementos en los niveles de fuerza y masa muscular similares a los observados al ejercitarse con cargas altas. Dado que ciertos colectivos podrían beneficiarse del empleo de bajas cargas en sus programas de entrenamiento orientados a incrementar la masa muscular, el objetivo del presente trabajo de revisión bibliográfica ha sido el de revisar en la literatura las evidencias que existen en torno a la efectividad del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo a la hora de provocar hipertrofia muscular.

Palabras clave: entrenamiento de fuerza; hipertrofia; KAATSU; restricción del flujo sanguíneo.

Abstract

Strength training focuses on increasing muscle mass has become in a frequent target in training programs in both elite athletes and people performing physical activity programs to improve their health or quality of life. Generally, the resistance training oriented muscle hypertrophy has been associated with the use of high workloads (70-85% of 1RM). Currently, it has been proposed that the resistance training with loads of only 20% 1RM under conditions of restricted blood flow can induce increases in strength levels similar to resistance training with high intensities. Because certain groups could benefit from the use of low loads in their strength training programs designed to increase muscle mass, the objective of the present study was to review the literature on the existing evidence about the effectiveness of blood flow restriction training inducing muscle hypertrophy.

Key words: resistance training; hypertrophy; KAATSU; blood flow restriction.

Correspondencia/correspondence: Raúl Domínguez
Departamento de Actividad Física y Deporte, Universidad Alfonso X El Sabio. España
Email: rdomiher@uax.es

Introducción

El entrenamiento de fuerza ha demostrado ser efectivo para producir hipertrofia muscular (Kraemer, Adams, Cafarelli, Dudley, y Dooly, 2002) cuando se realiza a intensidades superiores al 70% 1 RM (Ratamess, Albar, Evetoch, Housh, Kibler, Kraemer, y Triplett, 2009). En el ámbito del rendimiento deportivo se ha observado que aumentos de la hipertrofia muscular, aún en ausencia de cambios en el sistema contráctil, producen mejoras en los niveles de fuerza (Storer, Magliano, Woodhouse, Lee, Dzekov, Dzekov, Casburi, y Bhasin, 2003). Dado que la mayoría de lesiones se acompañan de atrofia, el entrenamiento de fuerza orientado a incrementar la masa muscular se recomienda en personas que están recuperándose de una lesión (Álvarez, Silvarrey, Martínez, Melén, y Legido-Arce, 2008). En el ámbito de la salud se ha observado que incrementos de la fuerza y masa muscular mejoran la sensibilidad a la insulina en sujetos con riesgo de sufrir diabetes tipo II (Dunstan, Daly, Owen, Jolley, De Courten, Shaw, y Zimmet, 2002) y previenen la sarcopenia (Colón, Collado, y Cuevas, 2014).

La hipertrofia muscular es el resultado de un balance positivo en relación a la síntesis de proteínas con respecto a la degradación de compuestos nitrogenados (Tipton y Wolfe, 2004), siendo los componentes fundamentales una adecuada planificación del entrenamiento en combinación con un adecuado soporte nutricional (Kraemer y Spiering, 2008). En relación a la planificación del entrenamiento con esta finalidad, los tres parámetros fundamentales serán la frecuencia, el volumen y la intensidad en el trabajo de fuerza o contra resistencias (ACSM, 1998).

Se ha sugerido que las fibras musculares tipo II, además de tener un mayor tamaño, son más sensibles a la hipertrofia (Cermak, Snijders, McKay, Parise, Verdijk, Tranopolsky, Gibala, y Van Loon, 2013). De acuerdo con el principio de reclutamiento de Henneman se ha propuesto que el peso levantado (porcentaje/intensidad) y el trabajo relativo (número de repeticiones) realizado con dicho peso serán fundamentales a la hora de estimular la degradación y, posterior síntesis proteica de las fibras musculares tipo II (González-Badillo y Serna, 2002). En base a dicha necesidad de estimular las fibras musculares tipo II, se proponen entrenamientos de fuerza con volúmenes moderados (3-4 series de 8-12 repeticiones) y cargas altas (70-85% de 1 RM) (Ratamess y col., 2009).

Ciertos grupos de población, como personas que se encuentran recuperando de una lesión que ha conllevado inmovilización de alguna extremidad (Abe, Loenneke, Fahs, Rossow, Thiebaud, y Bembem, 2012; Takarada, Takazawa, y Ishii 2000a) o personas de edad avanzada con muy bajos niveles de masa y acondicionamiento muscular (Iida, Kurano, Takano, Kubota, Morita, Meguro, Sato, Abe, Yamazaki, Uno, Takenaka, Hirose, y Nakajima, 2007), podrían beneficiarse de un entrenamiento de fuerza orientado a la hipertrofia, si bien el uso de altas cargas puede conllevar un riesgo de lesión (Abe, Kearns, y Sato, 2005).

Actualmente está ganando popularidad un tipo de entrenamiento de la fuerza orientado a incrementar los niveles de hipertrofia que se caracteriza por ejercitarse en condiciones de isquemia con cargas de tan sólo el 20% de 1 RM (Yasuda, Abe, Sato, Midorikawa, Kearns, Inoue, y Ishii, 2005). Las mejoras obtenidas mediante este tipo de entrenamiento han demostrado ser tan efectivas como el entrenamiento con altas cargas (Manimmanakorn, Manimmanakorn, Taylor, Draper, Billaut, Shearman, y Hamlin, 2013). Dado que el entrenamiento orientado hacia la hipertrofia con bajas cargas de trabajo pudiera ser especialmente relevante en ciertas poblaciones, el objetivo del presente trabajo de revisión bibliográfica ha sido el de estudiar las evidencias que existen acerca de la utilización del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo para provocar hipertrofia muscular.

Material y método

Se trata de un trabajo de revisión bibliográfica en el que se han utilizado trabajos publicados a partir del año 2005 en inglés y español como idiomas principales. La búsqueda se realizó en las bases de datos Elsevier, Medline, Pubmed, Scopus, Sport Discus, Web of Knowledge y Web of Science. En la estrategia de búsqueda se emplearon términos incluidos en el Thesaurus Medical Subject Headings (MeSH) desarrollado por la U.S. National Library of Medicine. Las palabras clave utilizadas fueron *blood flow occlusive* y *KAATSU* en combinación con otras palabras como *hypertrophy*, *resistance training* o *strength*. De los 105 artículos encontrados, únicamente se seleccionaron 12, tal y como se observa en la figura 1.

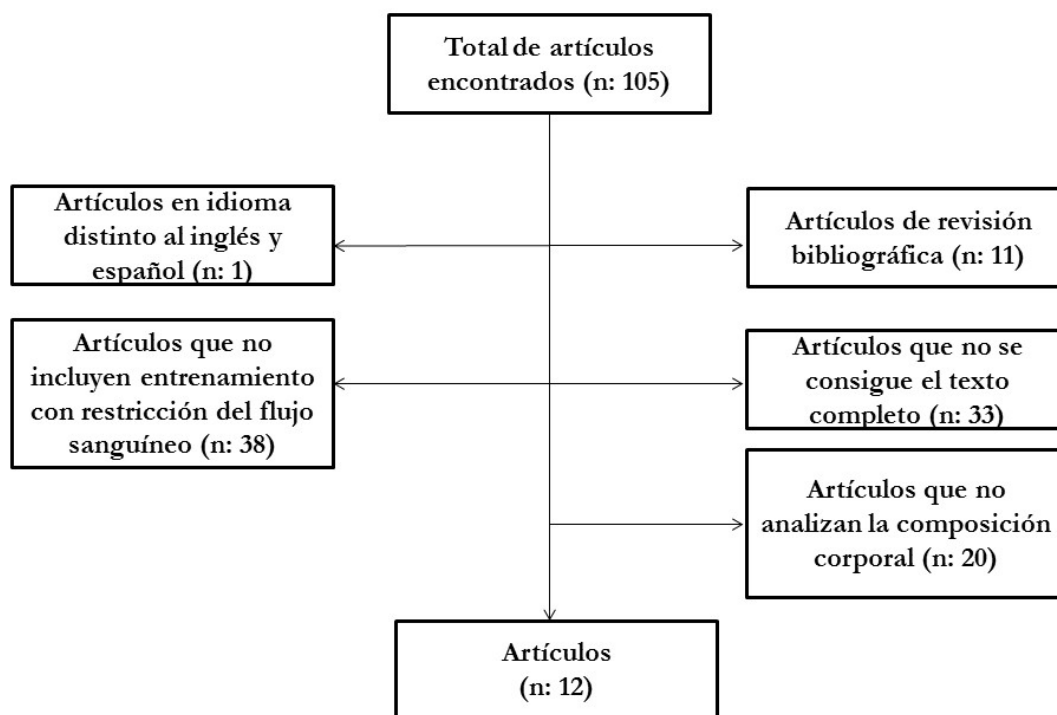


Figura 1. Criterios seguidos a la hora de seleccionar los artículos empleados en la revisión

Orígenes del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo

El entrenamiento con oclusión vascular o restricción del flujo sanguíneo tiene su origen hace 30 años en Japón, donde Yoshiaki Sato lo popularizó sobre 1985 comercializándolo como entrenamiento *KAATSU* (Manini y Clark, 2009). La característica principal de este tipo de entrenamiento reside en aplicar una presión que alcance o supere la tensión arterial sistólica (Manini y Clark, 2009). Para ello, se ha recomendado el empleo de manguitos de oclusión en los que se regularía la presión en función de la anchura y el tamaño del manguito, soliendo variar ésta entre valores de 100 a 200 mmHG (Loenneke, Fahs, Rossow, Sherk, Thiebaud, y Abe, 2012; McEwen, Kelly, Jardanowski, y Inkpen, 2002; Younger, McEwen, y Inkpen 2004). En cualquier caso, en la práctica real, en ocasiones se utilizan otros materiales como bandas elásticas, cinchas hinchables o torniquetes quirúrgicos como sustitutivos de los manguitos de presión (Martin-Hernández, Blasco, y Herrero, 2011).

La oclusión suele aplicarse sobre las extremidades (Abe y col., 2005). La aplicación de la restricción del flujo sanguíneo, sin embargo, no tendrá un carácter local, proponiéndose que la musculatura circundante podría experimentar una respuesta similar a la que recibe directamente la oclusión (Yasuda, Ogasawara, Sakamaki, Bembem, y Abe, 2011). De este modo, la aplicación de oclusión en el brazo podría ser efectiva en la realización de un ejercicio de *press* de banca, por ejemplo.

En cuanto a la modalidad de ejercicio, la restricción del flujo sanguíneo se ha utilizado generalmente en el entrenamiento de fuerza, utilizando cargas de baja intensidad, situadas entre el 20-50% de 1 RM (Abe, Kearns, y Sato, 2006). Sin embargo, la restricción del flujo sanguíneo, también, se ha aplicado en el entrenamiento cardiovascular, tanto realizado en carrera como en cicloergómetro (Abe y col., 2005, 2010), con intensidades, también muy inferiores a las utilizadas normalmente en ese tipo de modalidades deportivas (40% $VO_{2m\acute{a}x}$) (Abe y col., 2010).

Respuestas del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo

Antes de centrarse en analizar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo sobre la hipertrofia, debemos exponer las diferencias existentes entre este tipo de entrenamiento con respecto a uno *convencional*. Como se observa en la tabla 1, una de las principales diferencias del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo reside en su capacidad para favorecer el reclutamiento de unidades musculares tipo II ante bajas intensidades de trabajo (Takarada, Nakamura, Aruga, Onda, Miyazaki, y Ishii, 2000b). Dicho reclutamiento podría deberse a la situación de hipoxia localizada (Manini y Clark, 2009) que necesariamente requiere aumentar el metabolismo anaeróbico láctico para poder hacer frente a la resíntesis de ATP (Abe y col., 2006).

La imposibilidad de retorno de parte de la sangre venosa, como respuesta a la oclusión, hace que el volumen sistólico disminuya (Takano, Morita, Iida, Asada, Kato, Uno, Hirose, Matsumoto, y Hirata, 2005) y que, como consecuencia, tanto la frecuencia cardíaca (Takano y col., 2005) como la tensión arterial (Abe y col., 2010) tengan que elevarse con objeto de normalizar el gasto cardíaco.

A nivel neuroendocrino, por su parte, el aumento progresivo de los niveles de lactato haría que incrementasen los niveles de hormona de crecimiento o GH (Takarada y col., 2000 a) que podrían ser muy superiores a los logrados mediante el entrenamiento con cargas correspondientes al 70-85% de 1 RM (Reeves, Kraemer, Hollander, Clavier, Thomas, Francois, y Castracane, 2006; Sato, Yoshitomi, y Abe, 2005). El incremento de los niveles de GH induce el crecimiento muscular tanto directamente como indirectamente a través del factor de crecimiento similar a la insulina o IGF-1 (Kaplan y Cohen, 2007).

En cuanto a otros posibles mecanismos que explicasen el efecto anabólico de este tipo de entrenamiento, podrían destacar un menor efecto catabólico al atenuar la respuesta del cortisol al ejercicio (Abe y col., 2005), al tiempo que disminuye los niveles de creatinkinasa (Thiebaud, Yasuda, Loenneke, y Abe, 2013), marcador indirecto de daño muscular inducido por el ejercicio (Abe y col., 2006). Todas estas respuestas anabólicas o anticatabólicas serían favorables, aun a pesar de la ineffectividad de esta metodología de entrenamiento para modificar los niveles de testosterona (Reeves y col., 2006).

Tabla 1. Efecto del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (RFS) con respecto a un entrenamiento convencional

| | Efecto del entrenamiento con RFS |
|---------------------|--|
| Frecuencia cardíaca | Aumento de la frecuencia cardíaca (Takano y col., 2005) |
| Tensión arterial | Aumento de la tensión arterial (Abe y col., 2010) |
| Volumen sanguíneo | Disminución del volumen sistólico (Takano y col., 2005) |
| Neuromuscular | Aumento del reclutamiento de fibras musculares tipo II (Takarada y col., 2000 a) |
| Neuroendocrino | Aumento de los niveles de hormona del crecimiento (Reeves y col., 2006; Sato y col., 2005; Takarada y col., 2000 a) Menor aumento de los niveles de testosterona (Reeves y col., 2006) Disminución de los niveles de cortisol (Abe y col., 2005) |
| Metabolismo | Aumento de la glucólisis anaeróbica láctica (Abe y col., 2006) |
| Daño muscular | Menores niveles de creatinquinasa (Thiebaud y col., 2013) |

Uno de los aspectos que quedan por resolver es el relativo a la seguridad de este tipo de entrenamiento. A día de hoy existen reticencias centradas principalmente en posibles efectos adversos en el sistema cardiovascular, formación de coágulos o en daños musculares o neuromusculares (Martín-Hernández, Marín, y Herrero, 2011).

En cuanto al posible aumento del daño muscular, hemos mencionado que este tipo de entrenamiento se caracteriza por un menor incremento en los niveles de creatinquinasa con respecto a un entrenamiento de pesas convencional con cargas altas (Thiebaud y col., 2013). En relación a la función nerviosa, a pesar de que en la respuesta aguda pueda existir alteraciones en la conducción nerviosa, ésta no se ve alterada tras un período de entrenamiento a largo plazo (Clark, Manini, Hoffman, Williams, Guiler, Knutson, McGlynn, y Kurshnick, 2013).

Una investigación evaluó la posible aparición de trombos como respuesta al entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (Madarame, Kurano, Takano, Iida, Sato, Ohshima, Abe, Ishii, Morita, y Nakajima, 2010). En dicha investigación, tras 4 series de prensa de piernas al 30% de 1 RM no se observaron incrementos en los niveles de protombina 1 + 2 o antitrombina 3 compleja, ni degradación de la fibrina. Por tanto, el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo no pareció tener influencia en la formación de trombos (Madarame y col., 2010).

El estudio más importante en la valoración del riesgo de este tipo de entrenamiento analizó la incidencia de efectos adversos en un total de 105 centros japoneses en los que se realizaban entrenamientos con restricción del flujo sanguíneo (Nakajima, Kurano, Iida, Takano, Oonuma, Morita, Meguro, Sato, y Nagata, 2005). La tasa de efectos secundarios en los 13000 individuos encuestados fue muy baja. El efecto adverso más observado fueron las hemorragias subcutáneas (13,1%) siendo muy baja la tasa de incidencia de otros efectos secundarios graves como la anemia cerebral (0,2777%), trombos venosos (0,055%) o embolia pulmonar (0,008%).

A pesar de que los estudios existentes a día de hoy demuestren la seguridad del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (Nakajima y col., 2005), debemos de tener presente que la mayoría de investigaciones se han llevado a cabo con población sana (Pope, Willardson, y Schoenfeld, 2013). Por tanto, ante la falta de estudios específicos se debe desalentar la realización de este tipo de entrenamiento en personas con patología cardiovascular y/o neurológica, así como recomendar la realización de un examen médico previo, preferiblemente con un médico especialista en Medicina del Deporte.

Entrenamiento de fuerza con oclusión de flujo sanguíneo e hipertrofia muscular

En la tabla 2 se resumen las principales investigaciones que han cuantificado el efecto del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo sobre la hipertrofia muscular. En un estudio realizado en un grupo de hombres sin experiencia previa en entrenamiento de fuerza, Madarame, Neya, Ochi, Nakazato, Sato, y Ishii (2008) midieron el efecto de dos sesiones semanales de entrenamiento, durante un período de 10 semanas, que consistió en 3 series de 15-30 repeticiones al 30% de 1 RM en ejercicios de extensión y flexión de rodilla con y sin restricción del flujo sanguíneo, junto a series de 10 repeticiones al 50% de 1 RM de *curl* de bíceps sin oclusión vascular. Como resultado se encontraron mejoras significativas en el área de sección transversal de los isquiotibiales junto a mejoras superiores en el 1 RM en los ejercicios de flexión y extensión de rodilla en el grupo que se entrenó con restricción del flujo sanguíneo en comparación con el grupo que se entrenó sin oclusión vascular (Madarame y col., 2008).

En personas que habían sido sometidas a una operación de *bypass* en la arteria coronaria que realizaron un entrenamiento de 4 series hasta la fatiga con cargas situadas entre el 20-30% de 1 RM con una frecuencia de 2 sesiones semanales con restricción del flujo sanguíneo, se observaron mejoras significativas en los niveles de fuerza (del 10,4% al 18%) e incrementos superiores al 5% en el área de sección transversal del cuádriceps. Además, se comprobó que en este grupo de sujetos, con muy bajo nivel de acondicionamiento físico, este programa de entrenamiento de fuerza provocó mejoras significativas en variables cardiorrespiratorias, como el umbral anaeróbico (17%) y el $VO_{2\text{máx}}$ (10,7%) (Nakajima, Kurano, Iida, Takano, Madarame, Yasuda, Sato, y Morita, 2010).

Con el precedente de que el entrenamiento de fuerza con restricción del flujo sanguíneo en régimen concéntrico provoca un incremento mayor en la circunferencia de la extremidad ejercitada con respecto al mismo ejercicio en un régimen excéntrico (Umbell, Hoffman, Dearth, Cheboun, y Manini, 2009), Yasuda, Loenneke, Thiebaud, y Abe (2012) quisieron comprobar las respuestas tras 6 semanas de entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo mediante un trabajo exclusivamente concéntrico o excéntrico en un grupo de hombres que no habían realizado entrenamiento contra resistencias con anterioridad. Tras dicha intervención se observaron mejoras significativamente superiores en los valores de fuerza máxima isométrica (8,6%) y el área de sección transversal del brazo (12%) y del volumen muscular (11,7%) en el brazo que se ejercitó concéntricamente con respecto al que se ejercitó excéntricamente.

Otro estudio con una metodología similar a la anterior fue el llevado a cabo por otro grupo de investigadores que quisieron comprobar el efecto del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en un brazo con respecto a un entrenamiento con los mismos parámetros de la carga en el brazo contrario en un grupo de jóvenes universitarios no entrenados en fuerza (Wheatherholt, Beekley, Greer, Urtel, y Mikesky, 2013). Tras 8 semanas en el que se realizaron 3 sesiones semanales de entrenamiento consistentes en 75 repeticiones por sesión al 20% de 1 RM se comprobó que el brazo que se ejercitó con restricción del flujo sanguíneo obtuvo mejoras más importantes sobre el diámetro del brazo, el área de sección transversal y la fuerza dinámica máxima en un ejercicio de extensión de brazos. En dicho estudio, sin embargo, un posible *efecto*

cruzado podría explicar las mejoras –aunque menores– que se observaron en el brazo que se entrenó sin oclusión vascular (Wheatherholt y col., 2013). De hecho, el efecto cruzado se ha empleado en el campo de la rehabilitación, donde en períodos de inmovilización de una extremidad se ejerce la contraria con objeto de disminuir la atrofia del miembro inmovilizado (Magnus, Barss, Lanovaz, y Farthing, 2010). Además, se demuestra el efecto *sistémico* del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo que va más allá de simples adaptaciones locales (Wheatherholt y col., 2013).

Manimmanakorn y col. (2013) quisieron comprobar las posibles diferencias producidas entre un entrenamiento de fuerza con restricción del flujo sanguíneo con respecto a un grupo de entrenamiento de fuerza ante estímulos de hipoxia intermitente (IHT). La hipoxia intermitente busca reducir la presión parcial de oxígeno en el aire respirado con objeto de interferir en el oxígeno que llega a los tejidos corporales (Manimmanakorn y col., 2013) habiéndose demostrado su eficacia para mejorar tanto el rendimiento aeróbico (Meeuwsen, Hendriksen, y Holewijn, 2010) como anaeróbico en deportistas (Hamlin, Marshall, Hellemans, Ainslie, y Anglem, 2010). Los sujetos de dicho estudio, mujeres con experiencia en el entrenamiento de fuerza, realizaron durante 5 semanas 3 sesiones consistentes en 3 series al fallo con una carga relativa del 20% de 1 RM en ejercicios de flexión y extensión de piernas. Los resultados evidenciaron mejoras en los niveles de fuerza (entre el 11 y 15%) y en el área de sección transversal del cuádriceps que, aunque igualmente significativas, fueron ligeramente superiores en el grupo de entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (7,6%) con respecto al grupo de entrenamiento con IHT (5,3%).

Martín-Hernández, Marín, Menéndez, Ferrero, Loenneke, y Herrero (2013 a) quisieron evaluar por un lado el efecto de un elevado volumen con respecto a un volumen moderado de entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo, así como este tipo de programas de entrenamiento con respecto a un grupo de entrenamiento de alta intensidad, en jóvenes físicamente activos. El principal hallazgo de dicha investigación fue que el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo con respecto a un entrenamiento de alta intensidad tuvo la misma capacidad de inducir a hipertrofia, si bien, un volumen de 75 repeticiones por sesión a una intensidad del 20-30% de 1 RM no fue diferente a la realización de 150 repeticiones a la misma intensidad de trabajo, sugiriendo un posible *volumen umbral* de entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo que se podría encontrar en torno las 75 repeticiones/sesión al emplear cargas relativas del 20-30% de 1 RM. En cualquier caso, a pesar de que los aumentos en los niveles de masa muscular en las piernas se asociaran con mejoras en los niveles de hipertrofia, éstas a su vez se transformaron en mejoras en los niveles de fuerza (test de 1 RM en prensa de piernas), aunque dichas mejoras fueron significativamente superiores en el grupo de entrenamiento con altas cargas.

La anterior diferencia observada en la capacidad de inducir mejoras superiores en los niveles de fuerza en el entrenamiento con altas cargas con respecto a un entrenamiento con bajas cargas y restricción del flujo sanguíneo se podría deber a los mayores aumentos que se observaron en el ángulo de pennación de los músculos de los miembros inferiores al utilizar entrenamiento con altas cargas con respecto al entrenamiento de baja intensidad con restricción del flujo sanguíneo (Martín-Hernández, Marín, Menéndez, Loenneke, Coelho-e-Silva, García-López, y Herrero, 2013 b). Debido a que los aumentos en el ángulo de pennación se deben a incrementos en el grado de rigidez de tendones y aponeurosis (Csapo, Alegre, y Baron, 2011), consecuencia de la disminución de los fascículos musculares (Aagaard, Andersen, Dyhre-Poulsen, Leffers, Wagner, Magnusson, Halkjaer-Kristensen, y Simonsen, 2001), es posible que estas condiciones sean intrínsecas a la aplicación de grandes tensiones sobre la sección longitudinal del músculo (Martín-Hernández y col., 2013 b).

En futbolistas de alto rendimiento, también, se ha observado que un entrenamiento, durante las 4 semanas de pretemporada, de 3 sesiones semanales en el que se realizaron 3 series de 20 repeticiones con el 20% de 1 RM con restricción del flujo sanguíneo mejoraron significativamente los niveles de fuerza máxima (test de 1 RM en sentadillas y *press* de banca) y los perímetros corporales en comparación con el mismo entrenamiento realizado sin oclusión vascular (Yamanaka, Farley, y Caputo, 2013). A pesar de que los autores proponen que ante los resultados del estudio, el entrenamiento de baja intensidad con restricción del flujo sanguíneo puede ser efectivo como metodología en el entrenamiento de fuerza en deportistas, dicha afirmación hay que tomarla con cautela.

Provocar mejoras en el rendimiento de deportistas altamente entrenados es difícil, debido a que la capacidad de mejora disminuye a medida que aumenta el nivel del deportista y su nivel de entrenamiento (Issurin, 2012). No obstante, a pesar de que el entrenamiento de baja intensidad con oclusión vascular es capaz de mejorar la fuerza máxima y la composición corporal en futbolistas altamente entrenados, en dicho estudio la situación de *control* debería de haber sido un trabajo con altas cargas, como se hizo en investigaciones previas (Martín-Hernández y col., 2013 a, 2013 b), debido a que un entrenamiento sin isquemia y con cargas del 30% de 1 RM constituyen una carga insuficiente para inducir adaptaciones favorables sobre el rendimiento. Además, el hecho de que este tipo de entrenamiento no sea efectivo para mejorar el ángulo de penneación (Martín-Hernández y col., 2013 b), hace cuestionarnos el hecho de que mejore la *fuerza útil*. De este modo, en el deportista no será tan importante el rendimiento de fuerza máxima como la capacidad de máxima generación de fuerza en los límites temporales que tienen lugar durante la actividad deportiva (González-Badillo y Serna, 2002), que se relaciona más con la capacidad de fuerza explosiva o potencia y manifestada por la alta correlación existente entre los saltos con contramovimiento (CMJ) y el rendimiento en carreras de atletismo de distintas distancias (Hudgins, Scharfenberg, Triplett, y McBride, 2013).

Entrenamiento de resistencia con oclusión de flujo sanguíneo

Dado que durante actividades cardiovasculares suelen emplearse contracciones de una intensidad en torno al 20% de 1 RM se ha aplicado el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en ejercicios de resistencia en tapiz rodante y cicloergómetro (Abe y col., 2005, 2010). El primer estudio en este ámbito valoró la respuesta sobre la sección transversal y el volumen muscular del muslo, la fuerza máxima isométrica en flexión y extensión de piernas, así como la fuerza dinámica máxima (1 RM en prensa de piernas), tras 6 semanas de entrenamiento con una frecuencia de 6 sesiones semanales en un grupo de jóvenes físicamente activos (Abe y col., 2005). Las sesiones consistieron en 5 series de dos minutos a una velocidad de 3 km/h, con 1 minuto de recuperación con y sin restricción del flujo sanguíneo. Entre los resultados de dicho estudio se encontró que, si bien el estímulo de entrenamiento fue insuficiente para inducir cambios en el grupo control, el grupo que se entrenó en situación de oclusión vascular obtuvo aumentos en el área de sección transversal de un 5,7% y 7,6% en cuádriceps e isquiotibiales, respectivamente. Además, dichos aumentos se acompañaron de incrementos de un 4,1% en cuádriceps, 6,4% en isquiotibiales y 6,1% en aductores en el volumen muscular y de un 7,4% sobre la fuerza dinámica máxima y un 8,4% en la fuerza isométrica máxima (Abe y col., 2005).

La hipertrofia muscular observada en el grupo que caminó con restricción del flujo sanguíneo pudo tener su origen en los efectos positivos observados a la hora de incrementar los niveles de GH en combinación con las disminuciones que acontecieron en los niveles de cortisol (Abe y col., 2005). Por tanto, la respuesta hormonal que acontece con el entrenamiento cardiovascular en condiciones de restricción del flujo sanguíneo, similar a la obtenida al entrenamiento con cargas en dicha condición de isquemia, podría ser la máxima responsable de explicar este tipo de adaptaciones a nivel muscular al combinar ejercicio cardiovascular con restricción del flujo sanguíneo.

Con objeto de comprobar si, además de un efecto positivo sobre los niveles de hipertrofia, el entrenamiento cardiovascular con restricción del flujo sanguíneo pudiese mejorar los parámetros cardiorrespiratorios, se llevó a cabo un programa de entrenamiento de 8 semanas consistente en tres sesiones semanales de 15 minutos en cicloergómetro a una intensidad del 40% $VO_{2m\acute{a}x}$ con y sin restricción del flujo sanguíneo en cicloergómetro (Abe y col., 2010). Los principales hallazgos de dicha investigación fue que la condición de entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo produjo unas mejoras del 6,4% en el $VO_{2m\acute{a}x}$, así como en la sección transversal del cuádriceps (5,1%) y de la fuerza isométrica máxima en un ejercicio de extensión de piernas (7,7%) (Abe y col., 2010).

Aplicación de oclusión de flujo sanguíneo en la rehabilitación de lesiones

Los procesos de atrofia se han asociado con situaciones en los que la catabolización supera a la tasa de síntesis de nuevas proteína (Booth y Criswell, 1997). Las lesiones se asocian a procesos de atrofia muscular debidos a la inmovilización (Alvarez y col., 2008), siendo especialmente evidente la atrofia que tiene lugar en la musculatura extensora de la rodilla tras una reconstrucción del ligamento cruzado anterior de la rodilla (Takarada y col., 2000 a). Por ello, se sometió a un grupo de hombres y mujeres operados del ligamento cruzado anterior de la rodilla a un programa de entrenamiento de 2 sesiones semanales de ejercicio durante las 2 primeras semanas de la operación (comenzando el mismo día de la operación). La intervención consistió en 5 series de 5 minutos de aplicación de restricción del flujo sanguíneo sin realización de ningún tipo de ejercicio y 3 minutos de recuperación entre series. En dicho estudio se comprobó que el simple estímulo que suponía la isquemia localizada fue efectivo para disminuir la atrofia que tuvo lugar en el período postoperatorio. De este modo, mientras la disminución del área de sección transversal del cuádriceps disminuyó en un 20,7% en el grupo control, en el grupo de intervención la disminución fue de tan solo un 9,4% (Takarada y col., 2000 a).

Los autores proponen que un incremento en los niveles de lactato en sangre, debido a la hipoxia subyacente a la isquemia localizada, estimularía los metaborreceptores que aumentarían los niveles sanguíneos de catecolaminas y hormona del crecimiento que serían las responsables de explicar la disminución de la atrofia observada en los participantes del anterior estudio (Takarada y col., 2000 a). Por tanto, cabe plantearse la inclusión de este tipo de estímulos en personas que se someten a períodos de inmovilización (Takarada y col., 2000 a). Del mismo modo, las bajas intensidades que caracterizan a este tipo de entrenamiento puede convertirlo en una metodología de trabajo apropiada en la rehabilitación temprana, especialmente, si consideramos los efectos positivos que podría tener la aplicación de restricción del flujo sanguíneo en ejercicios continuos de baja intensidad como caminar (Abe y col., 2005), pedalear (Abe y col., 2010) o realizar ejercicios de fuerza con pesos de tan solo el 20% de 1 RM (Wheatherholt y col., 2013).

Tabla 2. Resumen de estudios que han valorado el efecto del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo

| Cita | Sujetos | Duración | Protocolo de entrenamiento | Variables | Resultados |
|------------------------|--|--------------|--|---|---|
| Abe y col. (2005) | H físicamente activos (n: 18): GRFS (n: 9) GC (n: 9) | 3 s (6 d/s) | 5 x 3 km/h en cinta. R: 1 min | AST del muslo FC con pulsómetro FIM: flexión y extensión de pierna Hormonas: Cortisol y GH Volumen muscular de la pierna RM: Prensa de piernas | AST: aumenta 5.7% y 7.6 en cuádriceps e isquiotibiales en GRFS FMI en extensión: mejora un 8,4% en GRFS Hormonas: aumento del cortisol en GC RM en prensa: mejora un 7,4% en GRFS Volumen muscular: aumenta un 4.1% en cuádriceps, 6.4% en isquiotibiales y 6.1% en aductores en GRFS |
| Abe y col. (2010) | H físicamente activos (n: 19): GK (n: 9) GNK (n: 10) | 8 s (3 d/s) | GK: 15 min a 40 % VO _{2máx} en cicloergómetro GNK: 45 min a 40% VO _{2máx} en cicloergómetro | AST muslo FIM: extensión de pierna VO _{2máx} en cicloergómetro | AST del cuádriceps aumenta un 5.1% y del muslo un 3.8% en GRFS FIM en extensión de pierna: mejora un 7,7% en GRFS VO _{2máx} : mejora un 6,4% en GRFS |
| Madarame y col. (2008) | H no entrenados (n: 15) GRFS (n: 8) GC (n: 7) | 10 s (2 d/s) | GRFS: 3 x 15-30 al 30% RM de extensión y flexión de pierna +3 x 10 50% RM de curls de bíceps sin RFS. R: 3 min GC: 3 x 15-30 al 30% RM de extensión y flexión de pierna +3 x 10 50% RM de <i>curl</i> de bíceps. R: 3 min | AST pierna RM: flexión y extensión de pierna | AST: isquiotibial mejora (de 34,8 a 36,8 cm ²) en GRFS y GC (de 41,5 a 43,4 kg) RM flexión de pierna: mejora (de 43,1 a 51 kg) en GRFS y en GC (de 41,5 a 43,4 kg) RM extensión de pierna: mejora (de 94,7 a 113,2 kg) en GRFS y en GC (de 84,2 a 93,2 kg) |

| | | | | | |
|----------------------------------|--|-------------|---|---|--|
| Manimmanakorn y col. (2013) | M entrenadas (n: 30): GEH (n: 10) GRFS (n: 10) GC (n: 10) | 5 s (3d/s) | GRFS: 3 x fallo al 20%RM de extensiones y flexiones de rodilla. R: 0,5 min GEH: 3 x fallo al 20%RM de extensiones y flexiones de rodilla. R: 0,5 min GC: 3 x fallo al 20%RM de extensiones y flexiones de rodilla. R: 0,5 min | AST muslo CVM en extensión pierna | AST muslo: mejora 7.6 % en GRFS, 5,3% en GEH y 2,1% en GC CVM en extensión de pierna: mejora 11,9% en GRFS 15% en GEH y 11% en GC |
| Martín-Hernández y col. (2013 a) | H físicamente activos (n:35) GRFS1 (n: 10) GRFS2 (n: 10) HIT (n: 11) GC (n: 8) | 5 s (2d/s) | GRFS1: 30 + 3 x 15 20% RM en extensión de pierna. R de 1 min GRFS2: 2 x (30 + 3 x 15 20% RM) en extensión de pierna. R: 1 y 5 min min GHIT: 3 x 8 al 85% RM en extensión de pierna. R 1 min | FIM: extensión de rodilla RM: extensión de pierna Volumen muscular del recto femoral y vasto lateral | FIM extensión de rodilla: mejoras entre el 3,9% y el 4,8%, sin diferencias entre grupos RM extensión de pierna: mejora en GRFS1 (de 142,2 a 152,2 kg), GRFS2 (de 138 a 146,7 kg) y GHIT (de 147,9 a 175 kg) Volumen muscular: mejora un 7,5% en el recto femoral y un 9,9% en el vasto lateral, sin diferencias entre grupos |
| Martín-Hernandez y col. (2013 b) | H físicamente activos (n:35) GKC1 (n: 11) GKC2 (n: 12) HIT (n: 12) | 5 s (2d/s) | GRFS1: 30 + 3 x 15 20% RM en extensión de pierna. R de 1 min GRFS2: 2 x (30 + 3 x 15 20% RM) en extensión de pierna. R: 1 y 5 min min GHIT: 3 x 8 al 85% RM en extensión de pierna. R 1 min | Ángulo de penneación del recto femoral y vasto lateral RM extensión rodilla Volumen muscular del recto femoral y vasto lateral | Ángulo de penetración: mejora en GHIT (de 16,7 a 20°) Volumen muscular del recto femoral: mejora en GRFS1 (de 22,7 a 25,8 cm), GRFS2 (de 24,1 a 29,1cm) y GHIT (de 24,7 a 29,1 cm) Volumen muscular del vasto lateral: mejora en GRFS1 (de 23,2 a 26,3 cm), GRFS2 (de 23,7 a 26,8cm) y GHIT (de 23,8 a 25,3 cm) |
| Nakajima y col. (2010) | H operados del corazón (n:7) GRFS (n:7) | 12 s (2d/s) | 4 x fallo 20-30% 1RM de prensa, flexión y extensión de pierna | AST muslo RM: prensa, flexión y extensión pierna UAN VO _{2pico} | AST cuádriceps: mejora 10,4% RM prensa de pierna: mejora 15% RM flexión de pierna: mejora 15% RM extensión de pierna: mejora 17% UAN: mejora 10,9% VO _{2pico} : mejora 10,7% |

| | | | | | |
|----------------------------|---|-------------|--|---|---|
| Takarada y col. (2000 a) | H (n: 8) y M (n: 8) operados de LCA (n: 16): GRFS (n: 8) GC (n: 8) | 2 s (2 d/s) | GRFS: 5 x 5 min de KAATSU sin ejercicio. R 3 min GC: placebo | AST muslo | AST cuádriceps disminuye 9,4% en GRFS y 20,7% en GC |
| Wheatherholt y col. (2013) | H (n: 17) y M (n: 23) (n: 40) GRFS (n: 25) GRFSC1: brazo entrena con RFS GRFSC2: brazo entrena sin RFS GC (n: 15) | 8 s (3d/s) | GRFS: 3 x 15 al 20% 1RM en flexión y extensión de brazo. GC: no entrena pero lleva oclusión el mismo tiempo que GRFS | AST brazo Circunferencia brazo Pliegue cutáneo RM: extensión y flexión de brazo RPE | AST brazo: mejora (de 40001 a 4129,9 mm ²) en GRFSC1 y GRFSC2 (de 4080,9 a 4226,5 mm ²) Circunferencia de brazo: mejora en GRFSC1 (de 29,9 a 30,2 cm) y GRFSC2 (de 29,8 a 30,4 cm) RM flexión de brazo: mejora en GRFSC1 (de 22,7 a 26,1 kg) y GRFSC2 (de 22,7 a 26,1 kg) RM extensión de brazo: mejora en GRFSC1 (de 22,4 a 24,6 kg) y GRFSC2 (de 21,4 a 24,7 kg) |
| Yamanaka y col. (2013) | Futbolistas jóvenes (n: 32) GRFS (n: 16) GC (n: 16) | 4s (3d/s) | GRFS: 1 x 30 + 3 x 20 al 20% 1RM en <i>press</i> banca y sentadillas. R: 0,5 min GC: 1 x 30 + 3 x 20 al 20% 1RM en <i>press</i> banca y sentadillas. R: 0,5 min | Circunferencias: tórax (superior e inferior), brazos (superior e inferior) y musculo (superior e inferior) RM: <i>press</i> banca y sentadilla | Circunferencias: mejora en todas las mediciones tanto en GRFS como GC RM <i>press</i> de banca: mejora en GRFS (de 128,6 a 137,9 kg) y GC (de 115,7 a 119,8 kg) RM sentadilla: mejora en GRFS (de 157,3 a 171,4 kg) y GC (de 149,4 a 156,6 kg) |
| Yasuda y col. (2012) | H (n: 10) GRFS: brazo entrena con RFS GC: brazo entrena sin RFS | 6 s (3d/s) | 1 x 30 + 3 x 15 al 30% 1 RM. R: 0,5 min | AST brazo EMG FIM Volumen muscular del brazo | AST brazo: mejora en GRF (de 14,7 a 16,4 cm ²) y en GC (de 15,4 a 16,2 cm ²) EMG: mayor activación en GRFS vs GC FIM: aumenta en GRFS (8,6%) Volumen muscular del brazo: aumenta en GRFS (11,7%) y en GC (4%) |

1 RM: 1 repetición máxima; AST: área de sección transversal; CVM: máxima contracción voluntaria; EH: entrenamiento en condiciones de hipoxia; EMG: Electromiografía; Ento: entrenamiento; FC: frecuencia cardíaca; FIM: fuerza isométrica máxima; G: grupo; GC: grupo control; GH: hormona del crecimiento; H: hombres; h: hora; HIT: de entrenamiento de fuerza con cargas altas; min: minutos; LCA: ligamento cruzado anterior; M: mujeres; R: recuperación; RFS: restricción del flujo sanguíneo; RPE: escala de percepción subjetiva del esfuerzo; s: semana. Todos los resultados presentados reflejan diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05)

Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones del presente estudio ha sido que, a pesar de los numerosos estudios que existen en la literatura acerca de la utilización del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo como metodología del entrenamiento de la fuerza, son muy pocos aquellos que directamente han cuantificado los efectos sobre la composición corporal. Además, de todos ellos únicamente 4 han tenido un período de entrenamiento de al menos 8 semanas que podría ser un considerado un período de entrenamiento mínimo para valorar la eficacia de un programa de entrenamiento orientado a mejorar la hipertrofia muscular.

Conclusiones

El entrenamiento de fuerza con restricción del flujo sanguíneo puede ser una metodología de entrenamiento con efectos similares al observado con entrenamientos convencionales con cargas elevadas, tanto en personas sanas que se inician al entrenamiento de fuerza como en aquellas con experiencia previa en el entrenamiento contra resistencias. Por tanto, el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo puede ser una metodología a utilizar en personas que busquen incrementar sus niveles de masa muscular, especialmente en aquellas condiciones en las que el entrenamiento con altas cargas no esté indicado. En cuanto a la metodología a aplicar, 75 repeticiones por sesión podría ser un volumen adecuado de entrenamiento, siendo las intensidades más adecuadas aquellas que se sitúan entre el 20% y el 30% de 1 RM y períodos de recuperación de 0,5 a 1 minutos entre series.

Referencias

- Aagaard, P.; Andersen, J.L.; Dyhre-Poulsen, P.; Leffers, A.M.; Wagner, A., Magnusson, S.P.; Halkjaer-Kristensen, J., & Simonsen, E.B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The Journal of Physiology*, 534(2), 613–623.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x>
- Abe, T.; Charles, F.; Kearns, & Sato, Y. (2005). 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.
<http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01267.2005>
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01267.2005>
- Abe T.; Fujita S.; Nakajima, T.; Sakamaki, M.; Ozaki, H.; Ogasawara, R.; Sugaya, M.; Kudo, M.; Kurano, M.; Yasuda, T.; Sato, Y.; Ohshima, H.; Mukai, C., & Ishii, N. (2010). Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂max in young men. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(3), 452-458
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01126.x>

- Álvarez, J.J.R.; López-Silvarrey, F.J.; Segovia Martínez, J.C.; Martínez Melen, H., y Legido-Arce, J.C. (2008). Rehabilitación del paciente con lesión del ligamento cruzado anterior de la rodilla (LCA). Revisión. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(29), 62-92.
- American College of Sports Medicine. (1998). Position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 975-991.
<http://dx.doi.org/10.1097/00005768-199806000-00032>
- Booth, F. W., & Criswell D.S. (1997) Molecular events underlying skeletal muscle atrophy and the development of effective countermeasures. *International Journal of Sports Medicine*, 18(4), 265-269.
<http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-972723>
- Cermak, N.M.; Snijders, T.; McKay, B.R.; Parise, G.; Verdijk, L.B.; Tranopolsky, M.A.; Gibala, M., & Van Loon, L.J. (2013). Eccentric exercise increases satellite cell content in type II muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(2), 230-237.
<http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e318272cf47>
- Clark, B.C.; Manini, T.M.; Hoffman, R.L.; Williams, P.S.; Guiler, M.K.; Knutson, M.J.; McGlynn, M.L., & Kurshnick, M.R. (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(5), 653-662.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01100.x>
- Colón, C.J.P.; Collado, P.S. y Cuevas, M.J. (2014). Beneficios del entrenamiento de fuerza para la prevención y tratamiento de la sarcopenia. *Nutrición Hospitalaria*, 29(5), 979-988.
- Csapo, R.; Alegre, L.M., & Baron, R. (2011) Time kinetics of acute changes in muscle architecture in response to resistance exercise. *Journal of Science and. Medicine in Sports*, 14(3), 270-274.
- Dunstan, D.W.; Daly, R.M.; Owen, N.; Jolley D.; De Courten, M.; Shaw, J., & Zimmet P. (2002). High intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 25(10), 1729-1736.
<http://dx.doi.org/10.2337/diacare.25.10.1729>
- González-Badillo, J.J., y Serna, J.R. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: INDE.
- Hamlin, M.J.; Marshall, H.C.; Hellemans, J.; Ainslie, P.N., & Anglem, N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on a 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(4), 651-661.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00946.x>
- Hudgins, B.; Scharfenberg, J.; Triplett, N., & McBride, J.M. (2013). Relationship between jumping ability and running performance in events of varying distance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 563-567.
<http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827e136f>
- Iida, H.; Kurano, M.; Takano, H.; Kubota, N.; Morita, T.; Meguro, K.; Sato, Y.; Abe, T.; Yamazaki, Y.; Uno, K.; Takenaka, K.; Hirose, K., & Nakajima, T. (2007). Hemodynamic and neurohumoral responses to the restriction of femoral blood flow by KAATSU in healthy subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 100(3), 275-285.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-007-0430-y>

- Issurin, V. (2012). *Entrenamiento deportivo: Periodización en bloques*. Barcelona: Paidotribo.
- Kraemer, W.J.; Adams, K.; Cafarelli, E.; Dudley, G.A., & Dooly, C. (2002) American College of Sports Medicine Position Stand on Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 364-380.
<http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200202000-00027>
- Kraemer, W.J., y Spiering, A. (2008). *Crecimiento muscular*. En: Brown, L.E. (ed.). National Strength and Conditioning Association: Entrenamiento de la fuerza (pp. 29-44). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Loenneke, J.P.; Fahs, C.A.; Rossow, L.M.; Sherk, V.D.; Thiebaud, R.S., & Abe, T. (2012). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 112(8), 2903-2912.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-011-2266-8>
- Madarame, H.; Kurano, M.; Takano, H.; Iida, H.; Sato, Y.; Ohshima, H.; Abe, T.; Ishii, N.; Morita, T., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(3), 210-213.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-097X.2010.00927.x>
- Madarame, H.; Neya, M.; Ochi, E.; Nakazato, K.; Sato, Y., & Ishii, N. (2008). Cross-Transfer Effects of Resistance Training with Blood Flow Restriction. *Basic Sciences*, 40(2), 258-263.
- Magnus, C.R.; Barss, T.S.; Lanovaz, J.L., & Farthing, J.P. (2010). Effects of crosseducation on the muscle after a period of unilateral limb immobilization using a shoulder sling and swathe. *Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1887-94.
<http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00597.2010>
- Manimmanakorn, A.; Manimmanakorn N.; Taylor, R.; Draper, N.; Billaut, F.; Shearman, J. P., & Hamlin, M.J. (2013). Effects of resistance training combined with vascular occlusion or hypoxia on neuromuscular function in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 113(7), 1767-1774.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-013-2605-z>
- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2009). Blood Flow Restricted Exercise and Skeletal Muscle Health. *Sport Sciences Reviews*, 37(2), 78-85.
- Martín-Hernández, J.; Blasco, R., y Herrero, A. J. (2011). El ejercicio físico suplementado con isquemia tisular como método de prevención de la atrofia muscular. *Archivos de Medicina del deporte*, 145, 383-393.
- Martín-Hernández, J.; Marín, P.J., y 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.J.; Menéndez, P.; Ferrero, C.; Loenneke, J.P. & Herrero, A.P. (2013a). Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(2), 114-120.
<http://dx.doi.org/10.1111/sms.12036>
- Martín-Hernández, J.; Marín, P.J.; Menéndez, H.; Loenneke, J.P.; Coelho-e-Silva, M.J.; García-López, D., & Herrero, A.J. (2013b). Changes in muscle architecture induced by low load blood flow restricted training. *Acta Physiologica Hungarica*, 100(4), 411-418.
<http://dx.doi.org/10.1556/APhysiol.100.2013.011>

- McEwen, J. A.; Kelly, D. L.; Jardanowski, T., & Inkpen, K. (2002). Tourniquet safety in lower leg applications. *Journal of Orthopaedic Nursing*, 21(5), 55-62.
- Meeuwssen, T.; Hendriksen, I.J., & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 4(4), 283-290.
<http://dx.doi.org/10.1007/s004210000363>
- Nakajima, T.; Kurano, M.; Iida, H.; Takano, H.; Madarame, H.; Yasuda, T.; Sato, Y., & Morita, T. (2010). Effects of Low-Intensity KAATSU Resistance Training on Skeletal Muscle Size and Muscle Strength/Endurance Capacity in Patients with Ischemic Heart Diseases. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(5), 743.
<http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000386155.62097.e0>
- Nakajima, T.; Kurano, M.; Iida, H.; Takano, H.; Oonuma, H.; Morita, T.; Meguro, K.; Sato, Y., & Nagata, T. (2006). Use and safety of Kaatsu training: Results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*, 2, 5-13.
<http://dx.doi.org/10.3806/ijktr.2.5>
- Pope, Z.K.; Willardson, J.M, & Schoenfeld, B.J. (2013). Exercise and blood flow restriction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2914-2926.
<http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182874721>
- Ratamess, N.A.; Albar, B.A.; Evetoch, T.K.; Housh, T. J.; Kibler, W.B.; Kraemer, W.J. & Triplett, N.T. (2009). Special Communication. 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.
<http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Reeves, G.V.; Kraemer, R.R.; Hollander, B.D.; Clavier, J.; Thomas, C.; Francois, M., & Castracane, V.D. (2006). Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 101(6), 1616-1622.
<http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00440.2006>
- Sato, Y.; Yoshitomi, A., & Abe, T. (2005). Acute growth hormone response to low-intensity KAATSU resistance exercise: Comparison between arm and leg. *International Journal of KAATSU Training Research*, 2, 45-50.
<http://dx.doi.org/10.3806/ijktr.1.45>
- Storer, T.W.; Magliano, L.; Woodhouse, L.; Lee, M.L.; Dzekov, C.; Dzekov, J.; Casaburi, R., & Bhasin, S. (2003). Testosterone dose-dependently increases maximal voluntary strength and leg power, but does not affect fatigability or specific tension. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 88(4), 1478-1485.
<http://dx.doi.org/10.1210/jc.2002-021231>
- Takano, H.; Morita, T.; Iida, H.; Asada, K.; Kato, M.; Uno, K.; Hirose, K.; Matsumoto, A., & Hirata Y, (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European Journal of Applied Physiology*, 95(1), 65-73.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-005-1389-1>
- Takarada, Y.; Takazawa, H., & Ishii, N. (2000a). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 2035-2039.
<http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>
- Takarada, Y.; Nakamura, Y.; Aruga, S.; Onda, T.; Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000b). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 88(12), 61-65.

- Thiebaud, R.; Yasuda, T.; Loenneke, J.P., & Abe, T. (2013). Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interventional Medicine and Applied Science*, 5(2), 53-59.
<http://dx.doi.org/10.1556/IMAS.5.2013.2.1>
- Tipton, K.D., & Wolfe, R.R. (2004). Protein and amino acids for athletes. *Journal Sports Science*, 22, 65-79.
<http://dx.doi.org/10.1080/0264041031000140554>
- Umbell, J.D.; Hoffman, R.L.; Dearth, D.J.; Cheboun, G.S., & Manini, T.M. (2009). Delayed-onset muscle soreness induced by low-load blood flow-restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 107(6), 687-695.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-009-1175-6>
- Weatherholt, A.; Beekley, M.; Greer, S.; Urtel, M., & Mikesky, A. (2013). Modified Kaatsu Training: Adaptations and Subject Perceptions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(5), 952-961.
<http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827ddb1f>
- Yamanaka, T.; Farley, R., & Caputo, J.L. (2013). Occlusion training increases muscular strength in división IA football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(9), 2523-2529.
<http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f2b0e>
- Yasuda, T.; Abe, T.; Sato, Y.; Midorikawa, T.; Kearns, C.F.; Inoue, K., & Ishii, N. (2005). Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *International Journal of KAATSU Training*, 1, 65-70.
<http://dx.doi.org/10.3806/ijktr.1.65>
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0052843>
- Yasuda, T.; Ogasawara, R.; Sakamaki, M.; Bemben, M.G., & Abe, T. (2011). Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high intensity resistance training and blood flow restricted low intensity resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31(5), 347-351.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01022.x>
- Younger, A.S.; McEwen, J.A., & Inkpen, K. (2004). Wide contoured thigh cuffs and automated limb occlusion measurement allow lower tourniquet "press"ures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 428, 286-293.
<http://dx.doi.org/10.1097/01.blo.0000142625.82654.b3>