

Efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo sobre el tejido muscular y óseo: un estudio piloto

Daniel A. González Pérez¹, Marcelo Castillo Retamal², Jorge A. Villena Pereira³

¹Universidad Católica del Maule. Centro de rehabilitación y terapia física. Maac Kinesiología. Chile. ²Auckland University of Technology, New Zealand. Departamento de Ciencias de la Actividad Física. Universidad Católica del Maule. Chile. ³Universidad Católica del Maule. Instituto nacional del deporte. Chile.

Recibido: 13/02/2019

Aceptado: 31/05/2019

Resumen

Los estudios completados hasta el momento respaldan la hipótesis de que el entrenamiento de baja intensidad (EBI) asociado con restricción del flujo sanguíneo (RFS) aumenta la hipertrofia muscular (HM) y fuerza dinámica máxima (FDM). Sin embargo, se carece de evidencias firmes que relacionen esta metodología con adaptaciones en el hueso.

El objetivo de este estudio fue establecer el efecto de cuatro protocolos de EBI asociados a RFS, en la HM, FDM, masa ósea (MO), densidad mineral ósea (DMO) y concentración mineral ósea (CMO) del miembro inferior en un periodo de 11 semanas de entrenamiento.

Dieciséis individuos medianamente entrenados fueron reclutados. Se realizó una distribución aleatoria de los participantes quedando distribuidos. G1: Electro Estimulación Neuromuscular (EENM) + RFS; G2: Caminata en treadmill + RFS; G3: Sentadilla 90° + RFS; G4: Solo RFS. Se utilizó medición directa de la FDM, Antropometría y Densitometría Radiológica Dual para medir las variables. Las mediciones fueron realizadas al inicio y al final de las 11 semanas.

En la variable HM los tratamientos de caminata + RFS y EENM + RFS registraron las principales mejoras frente al resto de las intervenciones. La FDM se ve afectada y mejorada por la EENM, la caminata y las sentadillas asociados a RFS, de similar manera a solo la aplicación de RFS. Se observaron modificaciones en la MO, DMO y CMO. La EENM + RFS lidero los resultados, mejorando la DMO y CMO. La caminata + RFS mostro mejorar la MO y la DMO al mismo tiempo.

La RFS sumado a los estímulos, EENM, caminata y sentadilla genera efectos positivos sobre la HM, la FDM y tejido óseo del miembro inferior. La RFS también genera cambios sin la asociación a otro estímulo, pero en menor medida. No se logró establecer una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) entre los grupos.

Palabras clave:

Fuerza muscular. Hipertrofia. Hueso. Oclusión. Flujo sanguíneo.

Effects of training with restriction of blood flow on muscle and bone tissue: a pilot study

Summary

The studies completed so far support the hypothesis that low intensity training (LIT) associated with blood flow restriction (BFR) increases muscle hypertrophy (MH) and maximum dynamic force (MDF). However, there is a lack of firm evidence linking this methodology with adaptations in the bone.

The objective of this study was to establish the effect of four LIT protocols associated with BFR, in the MH, MDF, bone mass (BM), bone mineral density (BMD) and bone mineral concentration (BMC) of the lower limb over a period of 11 weeks of training. Sixteen moderately trained individuals were recruited. A random distribution of the participants was carried out, being distributed. G1: Electro-Neuromuscular Stimulation (ENMS) + BFR; G2: Treadmill walk + BFR; G3: Squat 90° + BFR; G4: Only BFR. Direct measurement of the MDF, Anthropometry and Dual Radiological Densitometry was used to measure the variables. The measurements were made at the beginning and the end of the 11 weeks.

In the MH variable, the walking treatments + BFR and ENMS + BFR registered main improvements compared to the rest of the interventions. The MDF is affected and improved by the ENMS, walking and squats are associated with BFR, in a similar way to the BFR application only. Modifications were observed in BM, BMD and BMC. The ENMS + BFR led the results, improving the BMD and BMC. The walk + BFR showed to improve the BM and the BMD at the same time.

The BFR added to the stimuli, ENMS, walk and squat generates positive effects on the MH, MDF and bone tissue of the lower limb. The BFR also generates changes without the association to another stimulus, but to a lesser extent. It was not possible to achieve a statistically significant difference ($p > 0.05$) between the groups.

Key words:

Muscle strength. Hypertrophy. Bone. Occlusion. Blood flow.

Correspondencia: Daniel A. González Pérez

E-mail: danielsgonzalez81@gmail.com

Introducción

Se ha demostrado que el entrenamiento de baja intensidad (EBI) asociado a restricción de flujo sanguíneo (RFS) aumenta la hipertrofia y fuerza muscular (FM) de forma similar al ejercicio tradicional de resistencia de alta intensidad. Los estudios completados hasta el momento respaldan la hipótesis de que el entrenamiento con RFS puede proporcionar no solo una modalidad novedosa para inducir la adaptación en el músculo sino también en el hueso, que previamente se creía que en este último solo ocurría con alta intensidad y ejercicios de impacto. En general, se necesita levantar cargas de aproximadamente el 70% del máximo de una repetición (1RM) para tener aumentos notorios en el tamaño y la FM, como también realizar actividades de alto impacto para estimular la calidad y producción de tejido óseo (TO)¹⁻⁶.

Entre los variados instrumentos y métodos de entrenamiento para favorecer la FM e hipertrofia muscular (HM), aparece esta novedosa modalidad conocida como entrenamiento oclusivo (EO), *Kaatsu Training*, *Blood flow-restricted exercise* o entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (ERFS). Este consiste en la aplicación de un manguito inflable oclusivo u otro tipo de banda de material rígido o elástico a nivel de los miembros, con el objetivo de reducir de manera parcial la cantidad de sangre que llega a los tejidos por un tiempo determinado, generando un fenómeno de hipoxia, el cual asemeja a realizar ejercicio en condiciones anaeróbicas, con las consiguientes respuestas fisiológicas y metabólicas. El ERFS se plantea como una opción única en la clínica y entrenamiento, ya que es capaz de producir adaptaciones positivas entrenando con una intensidad muy similar a la de las actividades de la vida diaria (10-30% de la máxima capacidad de trabajo), generando mejoras en la FM, HM³ y posiblemente en el TO^{4,7-9}.

El ERFS de baja intensidad ofrece un entrenamiento único para el desarrollo de HM, pues permite entrenar con una intensidad del 20% 1RM y recibir mejoras equivalentes a las obtenidas con un 65% 1RM, además tiene implicaciones positivas para una amplia variedad de población, particularmente los ancianos, rehabilitación de atletas, postrados, fracturas, rehabilitación cardíaca e incluso astronautas, que físicamente no son capaces de soportar las cargas mecánicas altas¹⁰⁻¹⁵. Además, son múltiples los mecanismos y propuestas beneficiosas sobre la FM y un tema poco explorado que es la respuesta sobre el TO.

El propósito de esta investigación es establecer si cuatro protocolos de entrenamientos de baja intensidad asociados a RFS pueden generar efectos y diferencias entre ellos, en lo que respecta a la fuerza dinámica máxima (FDM), HM, masa ósea (MO), densidad mineral ósea (DMO) y concentración mineral ósea (CMO) del miembro inferior (MI).

Material y método

Se realizó un estudio cuasi experimental piloto con selección por conveniencia de 16 participantes, se conformaron 4 grupos de entrenamiento con 4 participantes por grupo (2 damas y 2 varones). Los participantes corresponden a alumnos voluntarios medianamente entrenados de primer y segundo año de la carrera de Educación Física de la Universidad Católica del Maule, Chile. Se completó un número de 11 semanas de entrenamiento ($\bar{X}22 \pm 4$ sesiones), no realizaron ningún

Tabla 1. Características de la muestra y distribución de los grupos.

Grupos (G)	\bar{X} - DS	Edad (Años)	Peso (Kg)	Estatura (Cm)	IMC
G1	\bar{X}	18,0	62,3	160,25	24,15
EENM + RFS	DS	0,50	8,40	3,75	2,15
G2	\bar{X}	19	63,8	164,9	23,3
CT + RFS	DS	1,00	9,90	6,10	1,90
G3	\bar{X}	19,33	63,93	164,53	23,53
S90° + RFS	DS	0,47	8,03	10,15	0,48
G4RFS	\bar{X}	19,50	72,00	171,85	24,35
	DS	0,50	5,00	2,15	1,05
Total	\bar{X}	19,11	65,33	165,29	23,80
	DS	0,74	8,81	7,88	1,52

RFS: Restricción del flujo sanguíneo; EENM: Electro estimulación neuromuscular; CT: Caminata en treadmill; S90°: Sentadilla 90° grados; IMC: Índice de masa corporal; \bar{X} : Promedio; DS: Desviación estándar.

tipo de entrenamiento extra a excepción de sus clases a largo de la fase experimental, por lo que todas las prácticas físicas que realizaban eran idénticas, sus características se detallan en Tabla 1¹⁶.

Todos los participantes fueron informados previamente de los objetivos y duración del estudio, dando su consentimiento por escrito para participar de forma voluntaria en el mismo. El proyecto de investigación fue aprobado por el comité de Ética científico de la UCM, al amparo de las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki de la asociación Médica Mundial para la investigación con seres humanos. La variable alimentación se controló aplicando el cuestionario sobre ingesta alimentaria (OO)¹⁷, no observándose desórdenes alimentarios ni de su autoimagen corporal.

Los criterios de inclusión fueron: Pertenecer al ingreso 2014 - 2015 de la carrera de Educación Física UCM, edades entre 17-20 años, género femenino y masculino. Los criterios de exclusión fueron: Pertenecer a selecciones deportivas o participar de algún tipo de entrenamiento programado y sistemático, encontrarse en tratamiento de alguna lesión o enfermedad de miembro inferior, presentar lesión o enfermedad dolorosa de miembro inferior. Se estableció un 70% de asistencia a las sesiones para ser incluido en el análisis final.

Técnicas e instrumentos

Las mediciones fueron realizadas en la semana 1 previo a la intervención y posteriormente en la semana 12 inmediatamente terminado el periodo de entrenamiento. Para la medición de la FDM en base a 1RM se utilizó el protocolo directo, en prensa inclinada de 90° adaptado para realizarlo en ambos miembros por separado, la flexión de rodilla de 90° se controló mediante un goniómetro universal de acrílico (marca Carci) presentando una escala de 0°-360°. Los niveles de validez, confiabilidad y objetividad para la evaluación de la fuerza máxima están basados en las recomendaciones de Brown, (2003) y la ASEP (Sociedad Americana de Fisiólogos del Ejercicio)¹⁸.

Para la evaluación de las variables antropométricas se adoptó el protocolo estandarizado por la "international working group of kineanthropometry"¹⁹. Todas las mediciones fueron realizadas por un único evaluador con amplia experiencia y certificación ISAK nivel III. Para determinar la masa corporal, se evaluó descalzo y con la menor

cantidad de ropa posible, utilizando una balanza digital con una precisión de 200 g de (marca Tanita) con una escala de 0 a 150 kg. La estatura se midió ubicándolos en el plano de Frankfurt sin zapatos, utilizando un estadiómetro de aluminio graduada en milímetros de (marca Seca), presentando una escala de 0-2,50 m. Los pliegues cutáneos fueron medidos utilizando un compás de pliegues cutáneos (Harpender) que ejerce una presión constante de 10 g/mm. Para los perímetros se utilizó una cinta métrica de nailon milimetrada de (marca Seca) con una precisión de 0,1 cm. Las mediciones corporales y antropométricas fueron extraídas y adaptadas de los estudios realizados por Vieitez, (2001); Medina, et al. (2013) y Norton, et al. (1996)¹⁹⁻²¹, mostrando los niveles de validez, confiabilidad y objetividad utilizados internacionalmente.

Para la medición de MO, DMO, CMO se utilizó la densitometría ósea (DO), conocida con la sigla DXA (Densitometría Radiológica Dual) con el protocolo propuesto por el fabricante (Lunar Prodigy; General Electric: Fairfield, CT, USA)²²⁻²⁴. La precisión de la DXA es alta, con un margen de error del 2-6% para la composición corporal²⁵. La objetividad de la MO es muy alta (95-99%), la validez es de 85-97%²³.

Procedimientos

Todas las actividades de entrenamiento y medición de variables se realizaron en la UCM, en las dependencias del edificio tecnológico, específicamente en el laboratorio de rendimiento humano, en horario diurno de 15:00 – 17:00 hrs. Se realizaron tres sesiones de entrenamiento a la semana, durante 3 meses, martes, jueves y viernes, correspondientes a la duración del entrenamiento, incluyendo 10 minutos de preparación, instalación de dispositivos, estiramientos previos y finales de la región muscular entrenada.

Se utilizaron esfigmomanómetros de 5 centímetros de ancho y una longitud de 70 cm. con una presión inicial de 110 mmHg. Este fue ajustado con presión de cero mmHg en el momento de su instalación, medidos y sellados, la RFS se aplicó a nivel del muslo proximal (quinto proximal de muslo medido desde la base de la patela al pliegue inguinal), aplicado sobre el muslo derecho, permaneciendo en la misma posición durante todas las series al igual que las pausas.

La confección y utilización de los manguitos fue extraída y adaptada según la revisión realizada por Reina, et al. (2014), mientras que la presión inicial y los parámetros de variación fue fijada según las recomendaciones realizadas por Loenneke, et al. (2014)^{14,26}.

Distribución y asignación de la tarea

Se realizó distribución aleatoria de los participantes quedando distribuidos de manera homogénea en cuanto a la cantidad y género.

Grupo 1 (G1): Electro estimulación neuromuscular (EENM) + RFS. Se aplicó 15 minutos de EENM, utilizando una onda cuadrangular bifásica consecutiva y asimétrica, con un ancho de impulso de 300 μ s, y una frecuencia de 50 Hz, una intensidad de 40 - 50 mA, percepción media-alta (fue la máxima tolerada por los sujetos) generando una contracción muscular visible. El sistema EMS (CDMTENS/EMS® Everyway Medical Instruments CO., Ltd. Edition: V1.0) se programó con un tiempo de contracción/reposo de 16/0 s. respectivamente, una rampa de 8 s., 16 s. en On y 0 s. en Off²⁷. La presión inicial del manguito fue de

110 mmHg. La variación durante el ejercicio fue de 110 – 130 mmHg durante la ejecución.

Se utilizaron 4 electrodos adhesivos de un solo tamaño: de 4x4 cm que se situaron en los puntos motores del musculo cuádriceps femoral, respectivamente bajo la inserción del recto femoral, 10 cm por debajo de cada espina iliaca anterosuperior, el área más prominente del vasto medial y del vasto lateral. La EENM + RFS se realizaba con el sujeto en posición sedente manteniendo los pies en el piso con la rodilla en un ángulo de 90° en cada sesión²⁷.

Grupo 2 (G2): Ejercicio de caminata en treadmill (CT) + RFS. Realizaron 5 series de 2 minutos de caminata por 2 minutos de pausa, a una velocidad calculada según la velocidad media del test de Cooper y controlada con pulsímetro manteniéndose entre 50 - 60% de la frecuencia cardiaca máxima. Se utilizó el treadmill (marca Hp Cosmos, modelo Mercury). La presión inicial del manguito es de 110 mmHg. La variación durante la ejecución del ejercicio fue de 110 – 220 mmHg.

Grupo 3 (G3): Ejercicio dinámico de sentadilla 90° + RFS. Se realizó sentadillas dinámicas de 90°, 5 series, 2 minutos de ejecución, 1 minuto de pausa, velocidad de ejecución moderada, manteniéndose entre 50 - 60% de la frecuencia cardiaca máxima, controlado con pulsímetro. Se utilizó un banco de 40 cm. para controlar el ángulo de flexión de rodilla y mantenerlo durante la ejecución entre 0° y 90°, el apoyo de los pies es al nivel de las caderas. La presión inicial del manguito es de 110 mmHg. La variación durante la ejecución del ejercicio fue de 110 – 220 mmHg.

Grupo 4 (G4): Solo RFS. Se realizó solo RFS en posición sedente, durante 15 minutos, con pies apoyados en el piso y tronco en respaldo. La presión inicial del manguito es de 110 mmHg. No presenta variación de la presión durante la aplicación.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa computacional SPSS® (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows versión 20.0. Se calculó la medida de tendencia central (Media) y la medida de variabilidad (Desviación estándar), además se realizó el cálculo matemático simple de porcentaje de avance entre la evaluación inicial y final para todas las variables. Para establecer la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk y para verificar la homogeneidad de las varianzas la prueba de Levene, ambas con un nivel de confianza del 95% y significancia del 5% ($p > 0,05$). Una vez establecida la normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas se procedió a aplicar la prueba t apareada para comparar pre y post evaluaciones de cada grupo y de la totalidad de los sujetos. El análisis de varianza unidireccional o de un factor (ANOVA) se utilizó para analizar si los cuatro tratamientos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas, además de incluir la prueba *Post Hoc* de Tukey para realizar comparaciones múltiples. El nivel de confianza asumido fue del 95% y significancia del 5% ($p < 0,05$) para estas últimas pruebas.

Resultados

Fuerza dinámica máxima

El estudio reveló que aumentaron los índices de fuerza en todos los grupos. Se observó significancia estadística para la prueba t en el

Tabla 2. Efectos en la fuerza dinámica máxima del miembro inferior.

	Grupos							
	EENM + RF		CT + RFS		S90° + RFS		RFS	
FMD MID (Kg)	↑*	(1)	↑	(2)	↑	(4)	↑*	(3)
FMD MII (Kg)	↑*	(1)	↑	(3)	↑	(2)	↑	(4)

Aumenta (↑); Disminuye (↓); Sin Efecto (↔); (*) Significancia estadística $P < 0,05$; Orden de respuesta al tratamiento (1)>(4); FDM: Fuerza dinámica máxima. MID: Miembro inferior derecho; MII: Miembro inferior izquierdo; RFS: Restricción del flujo sanguíneo; EENM: Electro estimulación neuromuscular; CT: Caminata en treadmill; S90°: Sentadilla 90° grados.

pre y post para el total de los sujetos ($p = 0,002$), también para el grupo G1 en el miembro inferior derecho (MID) ($p = 0,037$), miembro inferior izquierdo (MII) ($p = 0,028$) y para el grupo G4 en el MID ($p = 0,049$). Por otra parte, los grupos presentaron diferencias en sus porcentajes de avance y datos iniciales, esto permitió ordenar y comparar su respuesta al tratamiento (Tabla 2), no obstante, no se apreció diferencia significativa entre todos los grupos ANOVA en diferencia MID ($p = 0,84$), MII ($p = 0,66$) y entre grupos *Post Hoc* MID ($p = 0,845$), MII ($p = 0,664$).

Hipertrofia muscular

El grupo G4 el cual fue sometido a solo la aplicación de RFS mejoró en un 4,15% y el grupo G2 que realizó CT sumado a RFS mejoró en un 3,78 % el TM (Kg), como lo muestra la Tabla 3. En los otros dos grupos disminuyó esta variable. No existe significancia estadística para la prueba *t* en el *pre* y *post* para el total de los sujetos y para cada grupo, tampoco entre los grupos en las pruebas ANOVA y *Post Hoc* ($p > 0,05$). Solo se aprecia diferencia significativa en el grupo de CT en el cociente tejido muscular/tejido óseo ($p = 0,042$).

Tejido óseo

Los efectos evidenciados son diversos los cuales se aprecian en la Tabla 4. Se encontró significancia estadística en prueba *t* para el G2 en la diferencia de miembros inferiores (DMI) en la MO ($p = 0,049$) y para el

Tabla 3. Efectos en indicadores antropométricos relacionados con la hipertrofia muscular.

	Grupos							
	EENM + RFS		CT + RFS		S90° + RFS		RFS	
TM(Kg)	↓	(4)	↑	(2)	↓	(3)	↑	(1)
CTATM	↑	(1)	↓	(1)	↓	(3)	↓	(2)
CTMTO	↓	(3)	↑*	(1)	↓	(4)	↑	(2)
PMDM (Cm)	↑	(2)	↑	(1)	↓	(3)	↓	(4)
PMDMe (Cm)	↑	(1)	↑	(3)	↑	(2)	↓	(4)
PMD (Cm)	↓	(3)	↓	(4)	↓	(2)	↓	(1)

Aumenta (↑); Disminuye (↓); Sin Efecto (↔); (*) Significancia estadística $P < 0,05$; Orden de respuesta al tratamiento (1)>(4). TM. Tejido muscular; Kg. Kilogramos; CTATM. Cociente de tejido adiposo / tejido muscular; CTMTO. Cociente de tejido muscular / tejido óseo; PMDM Perímetro muslo derecho máximo; Cm. Centímetros; PMDMe. Perímetro muslo derecho medial; PMD. Pantorrilla máxima derecha.

Tabla 4. Efectos sobre el tejido óseo.

	Grupos							
	EENM + RFS		CT + RFS		S90° + RFS		RFS	
MO MID	↓	(4)	↑	(1)	↑	(2)	↑	(3)
MO MII	↓	(4)	↑	(1)	↑	(3)	↑	(2)
MO DMI	↓	(1)	↑*	(3)	↑	(4)	↓	(2)
DMO CFD	↑	(1)	↓	(3)	↑	(2)	↓	(4)
DMO DFD	↑	(1)	↑	(2)	↑	(3)	↓	(4)
DMO TFD	↑	(1)	↑	(2)	↑	(3)	↓	(4)
CMO CFD	↑	(1)	↓	(3)	↓	(2)	↓	(4)
CMO DFD	↑	(1)	↓	(3)	↑	(2)	↓	(4)
CMO TFD	↓	(1)	↓	(3)	↓	(2)	↓	(4)

Aumenta (↑); Disminuye (↓); Sin Efecto (↔); (*) Significancia estadística $P < 0,05$; Orden de respuesta al tratamiento (1)>(4). MO: Masa ósea. DMO: Densidad mineral ósea. MID: Miembro inferior derecho; MII: Miembro inferior izquierdo; DMI: Diferencia miembros inferiores; CFD: Cuello fémur derecho; DFD: Diáfisis fémur derecho; TFD: Total fémur derecho; CMO: concentración mineral ósea.

pre y *post* del total de sujetos en la CMO del cuello del fémur derecho (CFD) ($p = 0,046$) y el total del fémur derecho (TFD) ($p = 0,049$). No hay diferencia significativa entre los grupos (ANOVA) y *Post Hoc* ($p > 0,05$) para MO, DMO y CMO.

Discusión

La presente discusión se va a establecer en base a los tres parámetros que representan las variables analizadas en el presente estudio, dando énfasis a las intervenciones que muestran limitada información en la literatura.

Fuerza dinámica máxima

González-Badillo, *et al.* (2005) llevaron a cabo un estudio para determinar la influencia del volumen de entrenamiento en los niveles de fuerza de un grupo de halterófilos de categoría juvenil. Sus conclusiones apuntan en el mismo sentido que las del presente estudio, pues un volumen de entrenamiento moderado demostró ser más eficaz que los volúmenes de entrenamiento bajos y altos para incrementar la FM²⁸.

Takarada, *et al.* (2000) obtuvieron resultados muy similares, en este caso, el grupo de RFS mejoró su fuerza un ~18%, en tanto que el grupo de entrenamiento tradicional lo hizo un ~22%, en este estudio como en nuestra investigación, las diferencias entre grupos tampoco alcanzaron niveles de significación estadística²⁹.

Un estudio muy atinente es el de Karabulut, *et al.* (2010) pues nos muestra un ejercicio realizado en nuestra investigación que es la extensión de pierna, el estudio comparó los efectos de dos tipos de protocolos de entrenamiento de resistencia sobre la FM en hombres mayores. Los hallazgos sugieren que la FM de la pierna mejora con el ERFs de carga baja y el protocolo de EBI (20% 1-RM) con restricción vascular fue casi tan efectivo como el protocolo de entrenamiento de resistencia de alta intensidad (80% 1-RM) para aumentar la FM en hombres mayores, lamentablemente no explica lo ocurrido en nuestro estudio, pues el MI que no se aplicó RFS tuvo ganancias de fuerza similares a la que si se aplicó el dispositivo³⁰.

Hipertrofia muscular

Electroestimulación neuromuscular y restricción del flujo sanguíneo

Natsume, *et al.* (2015) estudiaron los efectos de la EENM de baja intensidad combinados con RFS en el tamaño y la FM de 8 voluntarios sanos no entrenados, de un promedio de 26 años, 174 cm y 71 Kg. La dosificación que utilizaron fue de dos veces por día, 5 días a la semana, durante dos semanas (20 sesiones), en la mañana y en la tarde con 5 hrs de diferencia, sentados en un ángulo fijo de rodilla de 75°, durante 23 min. Utilizaron descargas bifásicas rectangulares con ciclos de 30 Hz y 8 seg. de estimulación por 3 seg. de pausa, registrado a 5-10% de la contracción máxima voluntaria, el dispositivo de RFS fue de 10,5 cm. (MT-870 Digital Tourniquet; Mizuho, Tokyo, Japan), utilizando una presión calculada a partir de la circunferencia del muslo que iban entre 140-200 mmHg. no reportando la variación producida por la contracción muscular (lo que los autores establecen como una limitación del estudio), realizaron set de 5 min. Con pausas de 1 min. Sus resultados muestran que después de 2 semanas de entrenamiento la aplicación de RFS sumado a EENM generó hipertrofia en un 3,9% y disminuyó después de 2 semanas de no aplicado en tratamiento en un 3,0%. También aumentó la fuerza máxima de extensión de la rodilla en Isometría + 14,2% e isocinética 7,0% a 8,3%, no encontrando cambios notables con solo la aplicación de EENM al comparar evaluación inicial y final, además de los dos tratamientos no se obtuvieron diferencias significativas utilizando ANOVA y *t* test. Este trabajo mostró una densidad de entrenamiento importante, pero solo realizado en 2 semanas, nuestro trabajo realizó la evaluación con test dinámico de press pierna, la dosificación y temporalidad difieren bastante de nuestro estudio, si corroborando una diferencia en los resultados con el G1 de nuestro trabajo, en las mejoras en fuerza, las cuales fueron de 47,34 % en el grupo de EENM + RFS y en el grupo que solo realizo RFS de 20 %³¹.

Otro escaso reporte sobre la combinación entre EENM y RFS es la realizada por Slys, *et al.* (2017) la intervención se realizó durante 32 minutos, 4 días a la semana durante seis semanas. La fuerza de la pierna aumentó 32 ± 19 kg en el grupo que realizo EENM + RFS, que difirió del cambio de 3 ± 11 kg en el grupo control ($p=0,03$). Los grupos EENM y RFS aislados mostraron incrementos de 16 ± 28 kg y 18 ± 17 kg, respectivamente, pero estos no difirieron estadísticamente del control, ni entre sí. No hubo alteraciones estadísticamente significativas para la masa muscular. Al comparar los resultados con el G1 de nuestro estudio las mejoras en fuerza fueron de 26 Kg. en el grupo de EENM y en el grupo que solo realizo RFS 16,25 Kg. los cuales se acercan en parte, con respecto a la diferencia en perímetros de muslo no fue significativa, lo que se relaciona con la pobre respuesta en terminos de aumento de masa muscular, perímetro muslo derecho máximo ($t=0,960$) y perímetro muslo derecho medial ($t=0,122$)³².

Caminata y restricción del flujo sanguíneo

Abe, *et al.* (2006) examinaron los efectos agudos y crónicos de la caminata con y sin RFS en el tamaño del músculo medido por resonancia nuclear magnética y FDM e isométrica junto con los parámetros hormonales sanguíneos. En este estudio se produjo un aumento mucho mayor de la fuerza en el grupo de caminata en treadmill 31,7% en el MI que

utilizó el dispositivo de RFS y de un 20,8% en el que no, lo cual puede deberse a que completaron 6 semanas de entrenamiento y tres veces a la semana, lo que confirma lo concluido por Loenneke, *et al.* (2012) en su metaanálisis que mayor frecuencia de sesiones y días a la semana no produce mejores resultados, y la correlación entre mayor número de semanas y aumento de la fuerza. Las características de los sujetos en edad, composición corporal, nivel de entrenamiento y dosificación del entrenamiento son similares a nuestro estudio^{33,3}.

Sentadillas y restricción del flujo sanguíneo

Abe, *et al.* (2005) investigaron en sujetos jóvenes los efectos de 2 sesiones diarias, 6 días a la semana, durante 2 semanas, de 3 series de dos ejercicios, sentadilla y flexión de pierna. El grupo experimental de RFS + Ejercicio mejoró en sentadilla su fuerza en un 17% y la flexión de pierna en un 23%, también incrementó el factor de crecimiento IGF-1 de forma significativa ($p < 0,01$), no se observaron cambios significativos en el pre y post test en ambos grupos para la fuerza relativa. Concluyen las ganancias de fuerza e hipertrofia en el muslo ocurren posterior a 2 semanas. En nuestro estudio el grupo que realizó sentadillas mejoró su fuerza en un 19,45% de la misma forma que en el estudio descrito no se observó diferencia significativa en la prueba ($t=0,337$), ($p > 0,05$), nuestro grupo completó 11 semanas de entrenamiento pero con menor cantidad de sesiones, frecuencia a la semana y solo con sentadillas. Observamos que estos dos protocolos aunque difieran de manera importante y tengan en común el ejercicio de sentadilla mejoran la fuerza de miembro inferior de manera similar. En nuestro estudio se apreciaron cambios significativos en la FM con y sin RFS, la HM no mostró tal respuesta, lo cual es debido a la utilización de antropometría y no de mediciones que determinen el AST como lo reportan otros estudios que evaluaron específicamente esa variable³⁴.

Tejido óseo

Sato, *et al.* (2005) investigaron la hipótesis que intensidades medias de ejercicio asociada a RFS generarían adaptaciones en el TO similares a las respuestas a altas intensidades, midieron la fosfatasa alcalina (BAP) de los huesos que se encuentra en los osteoblastos encargados de producir hueso. Su trabajo fue realizado en varones sanos sometidos 2 veces por día a caminata con RFS en los muslos con 4 horas entre las sesiones durante 3 semanas. Los hallazgos fueron interesantes pues determinaron aumentos significativos en el AST medidos con RMN ($p < 0,01$), fuerza ($p < 0,01$) y BAP ($p < 0,05$), 10,8% aumento la BAP en grupo experimental, 0,3% en grupo control, no hubo cambios significativos para el IGF-1 en los dos grupos. Los autores concluyen que 3 semanas de entrenamiento de caminata con RFS aumenta la BAP, un marcador sérico de la rotación ósea. Estos marcadores sanguíneos no fueron registrados en nuestra investigación, pero los datos propuestos por estos autores podrían explicar los aumentos de MO y DMO que ubican nuestro grupo de caminata liderando en promedio la respuesta en estas variables³⁵.

Bemben, *et al.* (2007) en su estudio propusieron establecer el efecto agudo en marcadores sanguíneos encargados de la formación de TO, utilizaron EBI sumado a RFS, un grupo solo a baja intensidad y un grupo control, evaluaron 30 min. después de 1 serie de 30 repeticiones, seguida

de 3 series de 15 repeticiones y 30 seg. de pausa al 20% del RM. Evaluaron la BAP y N-telopéptido (NTx) reticulado del tipo I colágeno (biomarcador de remodelado óseo) concluyendo que un solo episodio de RFS al 20% del RM resultó en disminuciones en el marcador de resorción ósea NTx, pero no tuvo efecto sobre el marcador de formación ósea BAP⁸.

El estudio realizado por Karabulut, *et al.* (2011) compararon los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento de resistencia en las concentraciones de marcadores óseos en hombres mayores con una media de edad de 56,8 años, durante 6 semanas. Las concentraciones séricas de BAP y NTx mejoraron en ambos protocolos de entrenamiento de resistencia, lo que sugiere una mayor rotación ósea, con un equilibrio que favorece la formación ósea. Por lo tanto, a pesar de usar baja carga mecánica asociado a RFS, esta es una alternativa de entrenamiento potencialmente eficaz a la alta intensidad tradicional, para mejorar la salud ósea en hombres mayores. También utilizaron DO, no encontrando cambios en la MO, DMO y CMO, asociándolo a las solo 6 semanas de entrenamiento. Los autores no generaron el desglose que realizamos en nuestro estudio por lo cual no podemos realizar comparación apropiada, solo que al igual que nuestros hallazgos los valores de diferencia no fueron significativos al comparar los grupos⁹.

Otro de los escasos trabajos que existen sobre el efecto que tiene el RFS sanguíneo sobre el TO lo aporta Loenneke, *et al.* (2013) estudiaron un caso y la recuperación de una fractura osteocondral de la rodilla derecha de un culturista de 22 años, 175 cm. de talla y 70 kg. de peso, su evolución fue favorable producto de la aplicación de RFS, pero las conclusiones obtenidas son clínicas e individuales en términos de dolor, revisión de radiografía y resonancia nuclear magnética no aportando datos concluyentes sobre MO, DMO y CMO ni utilizando control para comparar resultados³⁶.

Aunque estos resultados previos muestran un efecto sobre el sistema óseo, existe una evidente carencia de estudios al respecto. Contrastar nuestros resultados sobre el TO resultan una tarea inconclusa producto que existen escasos estudios publicados con respecto a las adaptaciones que genera este entrenamiento sobre este tejido en particular, menos aún con la combinación de EENM y RFS^{2-6,13,37,38}. Dentro de las limitaciones del estudio se encuentran el pequeño tamaño de la muestra, la selección por conveniencia de los participantes y no realizar comparaciones entre damas y varones lo cual debe ser abordado y controlado en futuras investigaciones.

Conclusiones

Se concluye que la RFS sumado a los estímulos de baja intensidad como EENM, caminata y sentadilla genera efectos positivos sobre la FDM, TM y el TO del MI. La RFS también genera cambios sin la asociación a otro estímulo, pero en menor medida. Existe diferencia en la respuesta del TM y TO, así como en la FDM ante estos diferentes modos de ejercicio, no logrando establecer una diferencia estadísticamente significativa entre ellos en un período de 11 semanas en sujetos sanos medianamente entrenados.

Futuros estudios deberían llevarse a cabo para profundizar en los mecanismos subyacentes al proceso de HM inducida por el estímulo hipóxico, especialmente para dilucidar los motivos por los que se han observado fenómenos como la hipertrofia o aumento de FMD de

músculos no ocluidos. Se debe prestar importancia a desarrollar una línea investigativa utilizando grupo control para establecer una dosis-respuesta, adaptaciones a corto y largo plazo y generar mayor evidencia en el ámbito de la adaptación del tejido óseo y la rehabilitación.

Agradecimientos

Al departamento de actividad física y salud, la escuela de educación física y alumnos participantes de este estudio, Universidad Católica del Maule, Chile.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de intereses alguno.

Bibliografía

- Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med.* 2015;45:187-200.
- Slysz J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review-meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2016;19:669-75.
- Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:1849-59.
- Loenneke J, Young K, Fahs C, Rossow L, Bemben D, Bemben M. Blood flow restriction: Rationale for improving bone. *Med Hypotheses.* 2012;78:523-7.
- Loenneke JP, Pujol TJ. The Use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *Strength Cond J.* 2009;31:77-84.
- Chulvi-Medrano I. Entrenamiento de fuerza combinado con oclusión parcial superimpuesta. Una revisión. *Rev Andal Med Deporte.* 2011;4:121-8.
- Sato Y, Abe T. KAATSU-walk training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. *Int J Kaatsu Training Res.* 2005;1:77-81.
- Bemben D, IJ P, Abe T, Sato Y. Effects of a single bout of low intensity KAATSU resistance training on markers of bone turnover in young men. *Int J Kaatsu Training Res.* 2007;3:21-6.
- Karabulut M, Bemben DA, Sherk VD, Anderson MA, Abe T, Bemben MG. Effects of high-intensity resistance training and low-intensity resistance training with vascular restriction on bone markers in older men. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:1659-67.
- Sumide T, Sakuraba K, Sawaki K, Ohmura H, Tamura Y. Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *J Sci Med Sport.* 2009;12:107-12.
- Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86:308-14.
- Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, Uno K, *et al.* Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol.* 2005;95:65-73.
- Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med.* 2015;45:313-25.
- Reina C, Domínguez R. Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo e hipertrofia muscular. *Rev Int Cienc Deporte.* 2014;10:366-82.
- Hackney KJ, Everett M, Scott JM, Ploutz-Snyder L. Blood flow-restricted exercise in space. *Extrem Physiol Med.* 2012;1:1-14.
- Hernández R, Fernández C, Baptista P. *Metodología de la investigación.* México. Editorial McGraw-Hill; 2010.p.170-94.
- O'Donnell W, Warren W. *Cuestionario de sobreingesta alimentaria.* México. Editorial El Manual Moderno; 2007.p.1-26.
- Brown LE, Weir JP. Recomendação de procedimentos da Sociedade Americana de Fisiologia do Exercício (ASEP) I: avaliação precisa da força e potência muscular. *R Bras Ci e Mov.* 2003;11:95-110.
- Norton K, Whittingham N, Carter L, Kerr D, Gore C, Marfell-Jones M. Measurement techniques in anthropometry. *Anthropometrica.* 1996;1:25-75.
- Vieitez JA. Validación por disección de cadáveres de 7 métodos antropométricos para estimar la masa muscular humana. *Rev Cub Salud Publica.* 2001;15:115-20.

21. Medina FS, Ramírez WA, Leal DM, López VF, Canteras J. Metodología y fiabilidad de la medición del perímetro de muslo. *Act Fís Des Hum*. 2013;4:150-4.
22. Ramos RL, Armán JA, Galeano NA, Hernández AM, Gómez JG, Molinero JG. Absorciometría con rayos X de doble energía. Fundamentos, metodología y aplicaciones clínicas. *Radiología*. 2012;54:410-23.
23. Espallargues M, Sampietro-Colom L, Estrada MD, Sola M, del Rio L, Setoain J, et al. Identifying bone-mass-related risk factors for fracture to guide bone densitometry measurements: a systematic review of the literature. *Osteoporos Int*. 2001;12:811-22.
24. Gómez JC. Densidad mineral ósea en niños y adolescentes. Revisión de literatura. *VIREF Revista de Educación Física*. 2015;4:58-73.
25. Albanese CV, Diessel E, Genant HK. Clinical applications of body composition measurements using DXA. *J Clin Densitom*. 2003;6:75-85.
26. Loenneke JP, Thiebaut RS, Abe T, Bemben MG. Blood flow restriction pressure recommendations: the hormesis hypothesis. *Med Hypotheses*. 2014;82:623-26.
27. Linares M, Escalante K, La Touche R. Revisión bibliográfica de las corrientes y parámetros más efectivos en la electro estimulación del cuádriceps. *Fisioterapia*. 2004;26:235-44.
28. González-Badillo JJ, Gorostiaga EM, Arellano R, Izquierdo M. Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res*. 2005;19:689-97.
29. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:2035-9.
30. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bemben, MG. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108:147-55.
31. Natsume T, Ozaki H, Saito AI, Abe T, Naito H. Effects of Electrostimulation with Blood Flow Restriction on Muscle Size and Strength. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47:2621-7.
32. Slys J, Burr JF. The Effects of Blood Flow Restricted Electrostimulation on Strength and Hypertrophy. *J Sport Rehabil*. 2018;27.3:257-62.
33. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol*. 2006;100:1460-6.
34. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Inoue K, Koizumi K, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:6-12.
35. Sato Y, Abe T. KAATSU-walk training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:77-81.
36. Loenneke JP, Young KC, Wilson JM, Andersen JC. Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: a case review. *J Bodyw Mov Ther*. 2013;17:42-5.
37. Wernbom M, Augustsson J, Raastad, T. Ischemic strength training: a low-oad alternative to heavy resistance exercise?. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18:401-16.
38. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev*. 2009;37:78-85.