



El entrenamiento con oclusión vascular (EOV) como alternativa en rehabilitación muscular

Training with vascular occlusion (TVO) as an alternative in muscle rehabilitation

Luis Antonio Flores-García*

* Médico Cirujano, Universidad del Fútbol y Ciencias del Deporte.

RESUMEN

Para poder inducir una hipertrofia muscular, el Colegio Americano de Medicina del Deporte recomienda entrenar con intensidades por encima del 70% de una repetición máxima (1 RM). Sin embargo, se ha demostrado que se pueden obtener resultados similares en la inducción de la hipertrofia muscular entrenando a intensidades más bajas (20-50% de 1 RM) en combinación con la aplicación de una técnica de oclusión vascular, colocando un dispositivo retractor del flujo sanguíneo a nivel proximal de la extremidad a trabajar. Aun cuando no se ha establecido con entera claridad el mecanismo por el cual se produce la hipertrofia muscular, el entrenamiento con oclusión vascular (EOV) es una alternativa eficaz para las personas que no tienen la capacidad de levantar grandes cargas. En la siguiente revisión, se resumen los hallazgos de algunos estudios sobre el tema en torno de sus posibles mecanismos de acción, efectividad en el entrenamiento y perspectivas de aplicación práctica para la rehabilitación muscular.

Palabras clave: Oclusión vascular, restricción del flujo sanguíneo, entrenamiento, rehabilitación.

ABSTRACT

In order to induce muscle hypertrophy, the American College of Sports Medicine recommends training with intensities above 70% of 1 MR. However, it has been demonstrated that similar results in the induction of muscle hypertrophy can be obtained by training at lower intensities (20-50% of 1 RM) in combination with the application of a vascular occlusion technique, placing a blood flow restrictor device at the proximal level of the limb to work. Even though the mechanism by which this technique produces muscle hypertrophy has not been established with complete clarity, training with vascular occlusion (TVO) is an effective alternative for people who do not have the capacity to lift large loads. In the following review, we summarize the findings of some studies on the subject around their possible mechanisms of action, effectiveness in training and prospects of practical application for muscle rehabilitation.

Keywords: Vascular occlusion, blood flow restriction, training, rehabilitation.

Introducción

En recientes años, el empleo de la oclusión vascular como técnica alternativa en el ejercicio físico ha captado el interés de investigaciones en el mundo del deporte.^{1,2} Es un tipo de entrenamiento que permite la hipertrofia muscular, caracterizada por realizarse con cargas bajas y una restricción al flujo sanguíneo.^{3,4} Se puede emplear para dos objetivos: aumentar la fuerza y volumen muscular en personas sanas; y facilitar la realización de ejercicios en programas de entrenamiento para rehabilitación.¹

Como su nombre lo indica, la técnica de entrenamiento con oclusión vascular (EOV) implica la dismi-

nución en el flujo de sangre a un músculo mediante el uso de un dispositivo o torniquete neumático para ejercer presión alrededor del músculo, como un manguito de presión arterial o correas restrictivas especialmente diseñadas.⁵ Esto permite mantener el flujo arterial hacia el músculo que se desea trabajar. De acuerdo con buena parte de los estudios realizados al respecto, la oclusión vascular ha parecido segura y con poco riesgo para el sistema cardiovascular con la realización tradicional de ejercicios de resistencia de alta intensidad.⁵

Varias investigaciones han concluido que con la ejecución de ejercicios de resistencia de baja intensidad aplicando la oclusión vascular se logran resulta-

dos similares a los del ejercicio convencional de alta intensidad después de un programa de entrenamiento de tres sesiones por semana durante 6-8 semanas.⁶ Incrementa la fuerza muscular e induce a la hipertrofia⁷⁻⁹ empleando cargas bajas desde 20 hasta 50% de una repetición máxima (1 RM),^{2,4,7,10-12} o en el contexto de un entrenamiento aeróbico ligero, como la caminata suave.¹³ También incrementa la resistencia y disminuye la atrofia muscular.⁵

La técnica de la oclusión vascular

La técnica del EOv nació hace poco más de 30 años en Japón, donde Yoshiaki Sato la divulgó y comercializó a mediados de la década de 1980 bajo el nombre de «Kaatsu».¹⁴ Se basa en aplicar presión en la parte proximal del músculo a entrenar con el fin de alcanzar o superar la tensión arterial sistólica disminuyendo el flujo de sangre en el área.^{2,4} Para esto, se recomienda regular la presión entre los 100 y 200 mmHg en función del ancho del dispositivo usado, cuidando siempre de no alterar el flujo arterial.¹⁵

La combinación del entrenamiento de resistencia con cargas bajas –20% de 1 RM– y la restricción del flujo sanguíneo pueden mejorar la fuerza y la hipertrofia muscular, por lo que su uso ha interesado a personas que no pueden entrenar con grandes cargas.¹⁶ En general, el entrenamiento permite incrementar la capacidad de trabajo entre 10 y 30%,¹¹ obteniendo resultados muy parecidos a los de los entrenamientos con cargas por encima del 80% de 1 RM.^{3,13} Para que la técnica de oclusión vascular resulte efectiva y segura, se debe tomar en cuenta varios factores como la clase de ejercicio a realizar, el material, la extremidad a entrenar y la presión a ejercer.¹⁶ Aunque la restricción del flujo sanguíneo se aplica sobre las extremidades, su efecto no tendrá un carácter meramente local, ya que la musculatura periférica experimentará un estímulo parecido a la de aquella sobre la cual se ejerce la presión. De este modo, la oclusión generada en el brazo debe funcionar en la ejecución de un *press* de banca, por ejemplo.³

Con respecto del tipo de ejercicio, la oclusión vascular se ha usado principalmente en ejercicios de fuerza, utilizando cargas entre 20 y 50% de 1 RM. También se ha aplicado en ejercicio aeróbico, con intensidades mucho más bajas a las usadas comúnmente en este tipo de disciplinas deportivas (40% VO_2 máxima).³ Además, la técnica parece funcionar independientemente de si la presión ejercida es baja o media. Por ejemplo, se han obtenido los mismos beneficios empleando

una presión de 50 mmHg que si aplicara una de 100 mmHg.¹³ Esto puede deberse a que el mero estímulo es suficiente como para restringir el flujo sanguíneo venoso y el arterial sólo en última instancia.

En su diseño original, el sistema de entrenamiento Kaatsu indica que la presión sobre la parte proximal de la extremidad se debe aplicar inmediatamente antes de la fase principal de la rutina y retirar al momento de finalizar la sesión –de manera opcional, se puede retirar la oclusión durante los periodos de descanso entre series, aunque para mayores resultados se sugiere no hacerlo–. Se deben realizar de dos a tres sesiones a la semana de tres a cinco series al fallo muscular, con cargas de 20-50% de 1 RM y descansos de aproximadamente 30 a 60 segundos entre series. Estas cargas son ideales para que los individuos realicen de 30 a 50 repeticiones por serie. Las sesiones no deben pasar de 15 minutos.¹⁴ Otros protocolos de entrenamiento sugieren variar desde 15 hasta 75 repeticiones por sesión, distribuidas entre tres y seis series.^{7,10} Investigaciones en metaanálisis de programas de ejercicio reportan que los protocolos de entrenamiento aeróbico realizados durante dos a tres días por semana tienen mejor desempeño.¹⁰

Asimismo, existen indicios de que el instrumento utilizado para realizar la oclusión podría ser un factor que influya en el resultado. Esto significa que, aunque se aplique la misma presión a un individuo, el efecto alcanzado puede ser distinto si la banda empleada tiene un ancho de 5 cm que si es de 13.5 cm.¹⁷ Aunque en su forma original la técnica recomienda emplear un manguito neumático, en la práctica existe una diversidad de dispositivos que han sido empleados durante el ejercicio: rodilleras elásticas; cinturones con una bolsa neumática en el interior; bandas neumáticas de nylon, o un manguito tradicional de presión arterial de nylon;¹⁷ es decir, cualquier material que simule un torniquete.³

Investigación sobre la oclusión vascular

Se han propuesto diferentes explicaciones de por qué el EOv promueve la hipertrofia muscular. A partir de estudios neurológicos, endocrinológicos, hemodinámicos y anatómicos se ha documentado que esta práctica estimula la acumulación metabólica, la respuesta hormonal y hemodinámica, el aumento de la síntesis proteica, la actividad corticomotora, y el incremento en la fuerza muscular isotónica, isométrica e isocinéctica.¹⁴ Asimismo, se han llevado a cabo experimentos controlados para corroborar empíricamente el efecto de la oclusión vascular en el músculo.

Estudios explicativos sobre el mecanismo fisiológico de acción de la oclusión vascular

Los estudios sobre el mecanismo fisiológico por el cual actúa la oclusión vascular en el músculo explican que el ambiente hipóxico en el músculo conlleva una serie de cambios a nivel neuromuscular, hemodinámico, endócrino y metabólico que conducen a la hipertrofia muscular. Los primeros indican que, en las condiciones de un entrenamiento convencional de baja intensidad, las fibras musculares de tipo I (lentas) actuarán en primera instancia, por lo que será necesario recurrir a altas intensidades para reclutar a las fibras de tipo II (rápidas). Sin embargo, se ha descubierto que con el EOV el reclutamiento de las fibras musculares rápidas es inmediato, lo cual ha sido evidenciado por el aumento en la actividad muscular electromiográfica.¹⁶ Se dice que este proceso es favorecido debido a la hipoxia localizada, donde por necesidad muscular se aumenta el metabolismo anaeróbico láctico y así se afronta la resíntesis de adenosín trifosfato (ATP).³ El reclutamiento de fibras musculares tipo II resulta ligeramente menor al que se obtiene con un entrenamiento con cargas altas, pero mayor que el producido con cargas ligeras sin restricción de flujo sanguíneo. Por lo tanto, con el EOV se presenta una hiperexcitabilidad corticomotora, la cual es traducida en adaptaciones neuronales parecidas a las de un entrenamiento de alta intensidad, siempre y cuando esté controlado con base en un programa.¹⁶

En cuanto a los cambios metabólicos, el EOV ocasiona el aumento del volumen celular al originar una mayor cantidad de metabolitos que producen un gradiente de presión, el cual provoca una mejor perfusión celular. Este aumento del espacio intracelular generado a largo plazo acecha a la membrana plasmática, la cual responde con una adaptación de tipo anabólico y, a su vez, repercute en mejores condiciones estructurales para dicha célula. Asimismo, en el EOV se ha observado un aumento en la producción de ácido láctico. Este aumento de lactato producirá un medio intramuscular más ácido y, con ello, disminuye el pH sarcoplasmático.¹⁶

Por otro lado, comparando el EOV contra el entrenamiento convencional, los estudios reportan una disminución de la producción de fosfocreatina y ATP en forma aguda. Como adaptación crónica, se han registrado valores de glucógeno intramuscular aumentados.¹⁶ En el EOV, los marcadores directos de daño muscular como la IL6 o la CK han registrado valores inferiores en comparación con los propios del entrenamiento con

cargas altas, revelándose similares a los de entrenamientos de baja intensidad sin oclusión vascular.^{3,16}

Referente a la respuesta hemodinámica, la restricción del flujo sanguíneo venoso ocasiona la disminución del volumen sistólico. Por lo tanto, habrá un aumento en la frecuencia cardíaca y en la tensión arterial en un intento por ajustar el gasto cardíaco, lo cual provoca una mayor necesidad de oxígeno hacia el miocardio. Haciendo una comparación con el entrenamiento ligero sin oclusión vascular y con el entrenamiento moderado, habrá valores de tensión arterial sistólica, diastólica y ritmo cardíaco aumentados. Estos aumentos hemodinámicos se producirán durante e inmediatamente después del ejercicio, y no permanecen tras el ejercicio. Además, estos aumentos no son significativos si la oclusión vascular es de forma intermitente y son menores que los registrados en el entrenamiento con cargas altas.¹⁶ Después de un tiempo de seguir un plan de EOV, se generan adaptaciones vasculares positivas, como mejoras en la complianza de la carótida, en la función endotelial de las arterias braquiales y en el estímulo de la angiogénesis.¹⁶ Además, estimula al sistema nervioso simpático y parasimpático a nivel cardíaco. Hay aumento en la respuesta barorreceptora y, con ello, mejora el reflejo vasoconstrictor aumentando la respuesta hemodinámica.¹⁶

A nivel hormonal, la principal respuesta al entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo es el aumento en la producción de la hormona de crecimiento. Los registros de los estudios al respecto reportan valores iguales o mayores a los registrados en el entrenamiento con cargas altas. Incluso se han observado valores 290 veces mayores que los obtenidos al inicio del entrenamiento.^{9,16} Estos registros están muy por encima de los desarrollados con cargas pesadas (70.85% de 1 RM). El incremento de hormona de crecimiento se traduce en un crecimiento muscular directo, o bien indirecto a través del factor de crecimiento insulínico (IGF-1).³ También se ha observado un aumento en los niveles de IGF-1 y en el factor de crecimiento endotelial.¹⁶ En conjunto, el estímulo fisiológico directo sobre la hormona de crecimiento y el mediado a través del IGF-1 simulan un entrenamiento de intensidad mayor, provocando una síntesis proteica reflejada en un aumento en los niveles de hipertrofia y fuerza musculares.¹⁰ Otra respuesta hormonal ante el EOV es el aumento en el estímulo muscular vía la proteína quinasa mTOR, así como el incremento de la fosforilación de la proteína S6K1. Esta última, con un aumento de hasta tres veces más su cantidad inmediatamente

después de haber iniciado el EOV. Se han registrado también aumentos en la activación de la norepinefrina y de la proteína de choque térmico (HSP-72), y en la producción de óxido nítrico (NO) mediante marcadores directos, como la dilatación máxima arterial.¹⁶

Por otro lado, se ha observado que el EOV no provoca aumento en la producción de testosterona.¹⁶ A pesar de ello, las respuestas anabólicas son favorables.³ Incluso, en comparación con el entrenamiento de alta intensidad, se ha reportado una disminución en la segregación de cortisol y en la miostatina. También se ha observado una reducción en marcadores como la atrogina-1 o la MuRF-1.^{3,16}

Los efectos particulares del EOV son concentrados en la *Tabla 1*. En ella, se muestra un comparativo entre el mecanismo de hipertrofia muscular en humanos y las medidas de fuerza muscular contra los efectos de la oclusión crónica en experimentos realizados con ratas.

Estudios experimentales y cuasiexperimentales sobre el efecto de la oclusión vascular en el músculo

Aunado a los estudios que explican el mecanismo fisiológico de acción de la oclusión vascular en el músculo, se han realizado estudios de tipo experimental y cuasiexperimental sobre su efecto real en el entrenamiento. En su mayor parte, éstos han sido practicados sobre atletas y pacientes en rehabilitación. A continuación, en la *Tabla 2* se exponen los procedimientos y resultados de los más sobresalientes.

Enfoque terapéutico del EOV

El EOV puede ser una excelente opción para el acondicionamiento en rehabilitación, pues genera hipertrofia, fuerza y resistencia muscular, además de mejoras en la capacidad cardiorrespiratoria utilizando intensidades parecidas a las usadas en actividades cotidianas (10-20% de 1 RM).^{2,12,14} Aun cuando la mayoría de las investigaciones sobre este sistema de entrenamiento han examinado poblaciones sanas, en general, parece que es una herramienta segura y efectiva.⁴ Con su uso, se han demostrado resultados para el aumento del área de sección transversal muscular, tanto en personas sanas sedentarias, activas físicamente y deportistas, como en mayores o individuos que se encuentren en un proceso de rehabilitación tras una lesión o posterior a una intervención quirúrgica, especialmente en casos de osteoartritis de rodilla, sarcopenia y miositis esporádica. Su aplicación es de mucho interés en poblaciones que no puedan soportar un estrés mecánico o cardiovascular provocado por entrenamientos de alta intensidad, lo cual lo convierte en un método novedoso para el mantenimiento de la masa muscular.^{12,14,18}

Poblaciones beneficiadas

El entrenamiento de baja intensidad en combinación con una oclusión vascular ha dado excelentes resultados en programas de rehabilitación para pacientes intervenidos quirúrgicamente de ligamento cruzado

Tabla 1: Efectos del entrenamiento con oclusión vascular.

Mecanismo de hipertrofia muscular en humanos		Medidas de fuerza muscular		Efectos de la oclusión crónica en ratas	
Sustancia	Efecto	Medida	Efecto	Sustancia	Efecto
Lactato	+	1 RM	+	Proteína de choque térmico 72	+
Hormona de crecimiento	+	Fuerza isométrica	+	Óxido nítrico	+
Noradrenalina	+	Fuerza isocinética	+	Lactato	+
IGF-1	+	Torque isométrico	+	Área de sección transversal	+
Norepinefrina	+	Torque isocinético	+	Miostatina	-
MuRF-1	+	Resistencia muscular	+	Cambio de tipo de fibra muscular	+
MyoD	+	iEMG	+	Mioglobina	=
Miostatina	-	Área de sección transversal	+	Peróxido lipídico	=

+ Aumenta el nivel del indicador; - Disminuye el nivel del indicador; = Se mantiene el nivel del indicador.

Fuente: rediseñado a partir de Loenneke et al.¹³

Tabla 2: Comparativo de estudios experimentales y cuasiexperimentales sobre el efecto de la oclusión vascular en el músculo.

Estudio	País/año	Muestra	Consideraciones metodológicas	Carga/repeticiones	Presión de la oclusión	Resultado
Gamboa, Osmá, Ramírez, Rincón ²⁰	Colombia/ 2016	22 mujeres sanas entre los 15 y 45 años de edad	El protocolo de intervención que siguieron constó de cuatro etapas: evaluación inicial de la fuerza, diámetro transversal del cuádriceps, diámetro transversal de la pantorrilla y funcionalidad de miembros inferiores; asignación aleatoria del miembro inferior a intervenir mediante el método de balotas; aplicación de la intervención; evaluación final de las tres variables iniciales	Sin carga/caminata con restricción de flujo sanguíneo tres veces por semana hasta completar 12 sesiones, a una velocidad de 4 km/h, sin inclinación y a lo largo de 12 minutos	Entre 120 y 160 mmHg	Cambios significativos en cuanto a dinamometría, adipometría de muslo, adipometría de pierna, salto simple, salto triple y salto cruzado
Lymperis ¹⁹	Canadá/ 2014	Mujeres, jugadoras de baloncesto	La muestra se dividió en tres grupos: uno con entrenamiento de cargas altas, otro de cargas bajas y uno de control Las participantes se sometieron a un programa de cinco semanas con un ritmo de entrenamiento de tres sesiones por semana. Se usaron dos métodos para crear hipoxia en los músculos de las piernas mientras se entrena a intensidades bajas: el primero, inhalar gas con poco oxígeno; y el segundo, generar una restricción del flujo sanguíneo	El grupo con oclusión vascular, la carga fue de 20% de 1 RM/3 series cada una hasta el fallo muscular, tres sesiones por semana, durante cinco semanas. En el grupo de entrenamiento con hipoxia, el porcentaje de oxígeno en el aire inspirado se ajustó a una saturación de oxígeno al 80%	160 mmHg con aumento gradual cada semana, hasta alcanzar 230 mmHg	En ambos grupos se registró un crecimiento sustancial del músculo del muslo. Mejora en el número máximo de repeticiones a realizar. Incrementos sustanciales en los picos de fuerza isométrica
Hernández, Marín, Menéndez, Ferrero, Loenneke y Herrero ⁷	España/ 2013	39 estudiantes hombres de 20 a 21 años. Control	Los participantes realizaron ejercicios de extensión de rodilla bilaterales utilizando una máquina isotónica de extensión de pierna. Fueron divididos en cuatro grupos: el primero, sometido a EOV con volumen bajo; el segundo, sometido a EOV con volumen alto; el tercero, sometido a entrenamiento de alta intensidad; y el cuarto, un grupo de control	20% de 1 RM/1 serie de 30 repeticiones más tres series de 15 repeticiones, espaciadas por cinco minutos de descanso, dos veces por semana, durante cinco semanas	110 mmHg durante todo el entrenamiento, incluidos los periodos de descanso	Aumento del grosor muscular del 7.5% para el recto femoral y 9.9% para el vasto lateral. Incremento en el porcentaje de 1 RM de fuerza
Wernbom, Järrebring, Andreasson y Augustsson ¹	Suecia/ 2009	11 personas sanas: ocho hombres y tres mujeres, de entre 20 y 39 años de edad	Examinar los efectos de la restricción de flujo sanguíneo sobre la actividad muscular durante la extensión dinámica de rodilla	30% de un grupo de control. 1 RM/tantas repeticiones como fuera posible, en tres series para cada pierna, con 45 segundos de descanso entre cada serie	100 mmHg	Se encontraron diferencias significativas en el número de repeticiones realizadas entre la pierna ocluida y la que no tenía oclusión

Continúa Tabla 2: Comparativo de estudios experimentales y cuasiexperimentales sobre el efecto de la oclusión vascular en el músculo.

Estudio	País/año	Muestra	Consideraciones metodológicas	Carga/repeticiones	Presión de la oclusión	Resultado
Satoshi, Takashi, Micah, Jerson, Hans, Yoshiaki, et al. ⁶	Estados Unidos/ 2007	6 hombres	Se le colocó a cada participante un manguito alrededor de la porción más proximal de cada pierna	20% de 1 RM/30 repeticiones en la máquina de extensión de piernas, seguida por un periodo de descanso de 30 segundos. Posteriormente, realizaron tres series más de 15 repeticiones con intervalos de descanso de 30 segundos	200 mmHg	El pH sanguíneo disminuyó. Las concentraciones de lactato en plasma y de hormona de crecimiento en suero aumentaron. El cortisol aumentó. No se observaron cambios en cuanto al IGF-1 y a la testosterona. La proteína muscular mixta FSR (<i>Fractional Synthetic Rate</i>) aumentó significativamente tres horas después del ejercicio en el grupo con oclusión vascular, pero no en el grupo control. Aumento en la hormona de crecimiento. El hematocrito se elevó en 10%. El VO_2 aumentó en 14%. El cortisol, no mostró cambio alguno. Aumentó el AST. La fuerza aumentó. Tanto en los grupos de experimentales como en los de control, el área de sección transversal (AST) de los músculos extensores y flexores de rodilla fue significativamente más pequeña luego de 14 días que al tercer día después de la cirugía. El AST del fémur no mostró cambios
Abe, Kearns y Sato ⁸	Japón/ 2006	18 hombres, todos de 21 años	Durante la práctica, los pacientes usaron cinturones de presión en ambas piernas	Caminata ligera, dos veces al día, seis días a la semana durante tres semanas	160 mmHg de inicio aumentando 10 mmHg cada día hasta alcanzar 230 mmHg	
Takarada, Takazawa e Ishii ⁹	Japón/ 2000	Ocho hombres y ocho mujeres postoperados de manera voluntaria de reconstrucción de LCA	El estudio se hizo para determinar la eficacia del entrenamiento con oclusión vascular a pacientes intervenidos en cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior de manera voluntaria	Sin carga/El periodo experimental fue por dos semanas, incluyendo el día de operación. Estímulos oclusivos durante cinco minutos, seguidos por una liberación de la presión en el manguito durante tres minutos. El mismo acto debía ser repetido en cinco series durante dos sesiones al día, a las 09:00 y 14:00 h	Entre 200 y 260 mmHg	

Fuente: elaboración propia con base en los estudios reportados.

anterior, pacientes en rehabilitación cardíaca y para prevenir la sarcopenia en personas de la tercera edad, ya que esta técnica les permite ejercitarse a intensidades muy bajas.^{5,11,13} La incorporación de este tipo de entrenamiento es idónea dentro de los programas de rehabilitación temprana, especialmente si se consideran los beneficios con ejercicios continuos de baja intensidad en conjunto con la oclusión vascular; por ejemplo, caminata, bicicleta o realizar ejercicios con cargas de tan sólo el 20% de 1 RM.¹⁰ Se puede asegurar que la aplicación del EOV puede mermar las pérdidas de masa muscular, así como de la fuerza observada, especialmente en los músculos cuádriceps, que existe después de un procedimiento quirúrgico como la reconstrucción de ligamento cruzado anterior.¹⁰ Al respecto, Gaunder y colaboradores revisaron el beneficio del EOV en la rehabilitación postoperatoria de una artroplastia total de rodilla en consideración de la debilidad en los cuádriceps que ocurre posteriormente. Los datos obtenidos en los pacientes analizados reportaron un aumento en el torque de la flexión y la extensión de la rodilla, sugiriendo un progreso en donde la rehabilitación tradicional había fallado.

Aunado a lo anterior, cabe considerar que una rehabilitación puede llevar mucho tiempo, más aún si previo a esto existió un periodo de inmovilización larga. Existen lesiones relacionadas con la atrofia muscular como consecuencia de la inmovilización. Es en este tiempo cuando se presenta una relación negativa entre la síntesis y degradación de las proteínas musculares, traduciéndose en una atrofia muscular por falta de uso. Considerando que los mecanismos necesarios para la ganancia de fuerza y la masa muscular pueden ser excesivos para los pacientes que se encuentren en convalecencia, el EOV puede ser una alternativa altamente efectiva para estimular de manera segura los mecanismos de síntesis proteica y, con ello, acortar el tiempo de recuperación.

Por otro lado, la técnica de EOV puede ser usada en atletas que necesiten periodos de descanso posteriores a una etapa de mucho estrés asociado con entrenamientos de alta intensidad, o que se encuentren en fases de descarga, ya que ayuda a una adaptación positiva en su programa de entrenamiento sin ocasionar prácticamente daño al músculo. También se ha reportado que puede traer beneficios a individuos que padezcan desmineralización y disminución de la densidad o que presentan alteraciones neurológicas.⁴ Incluso, fuera del campo clínico y deportivo, se ha observado que el empleo de EOV ha aportado un gran beneficio

en programas de preparación física para astronautas que tienen que realizar misiones espaciales.¹³

Aunque ya hay una considerable cantidad de investigación sobre los efectos del EOV, aún queda una frontera emocionante por descubrir. Se están iniciando investigaciones para observar las respuestas cardiovasculares agudas –medidas mediante electrocardiografía y presión arterial continua no invasiva– de personas sanas de mediana edad durante el EOV de extremidades inferiores, pues todavía existe la preocupación por saber si una presión exagerada sobre el músculo pueda traer consecuencias, especialmente para las poblaciones en riesgo. Asimismo, aun cuando la evidencia actual respalda el EOV como una forma de mejorar la fuerza y la hipertrofia musculares, se necesitan investigaciones adicionales para examinar el impacto del EOV en pacientes con disfunción músculo-esquelética –por ejemplo, reconstrucción postoperatoria del ligamento cruzado anterior, presarcopenia, osteoartritis de rodilla–.⁴

Recomendaciones de aplicación

En general, el EOV puede ser visto como una modalidad clínica emergente para lograr adaptaciones fisiológicas en personas que no pueden tolerar con seguridad ejercicios de alta tensión muscular o aquéllos que no pueden realizar una actividad muscular voluntaria. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, se necesitan más investigaciones para establecer lineamientos satisfactorios de una aplicación segura antes de la prescripción clínica generalizada.⁴ En una investigación realizada por Loenneke y su grupo, se ha sugerido un modelo de aplicación del EOV durante los procesos de rehabilitación para lesiones de miembro inferior que requieran inmovilización por largos periodos. El proceso se divide en cuatro fases:

- Fase I: cuando el sujeto se encuentra en cama y con la extremidad inmovilizada, se aplicará la oclusión vascular sin estímulo con el fin de evitar la pérdida de masa muscular debido a la inactividad.
- Fase II: cuando el paciente pueda realizar apoyos, se puede alternar la oclusión vascular con ejercicio aeróbico suave –un poco de caminata o bicicleta estática– y, así, mantener y/o aumentar la masa muscular y la fuerza.
- Fase III: cuando el sujeto no sea capaz de movilizar cargas grandes, se indicará la oclusión vascular con cargas ligeras con la finalidad de aumentar de forma considerable la fuerza y la masa muscular.

- Fase IV: cuando el paciente ya se encuentre en condiciones de movilizar grandes cargas, se entrenará de forma aislada en combinación con sesiones de oclusión vascular para adaptarlo paulatinamente al entrenamiento de alta intensidad.¹⁶

Otra sugerencia para trabajar la técnica es realizar altas repeticiones en conjunto (15 a 30) alternadas con periodos de descanso cortos entre series (30 a 60 segundos) con la oclusión vascular ejercida.^{2,13} Puede ser utilizado en ejercicios de resistencia para estimular los cambios y adaptaciones fisiológicas donde se deben evitar las cargas altas.¹⁹ En estos casos, se recomienda un rango de presión de 160 a 230 mmHg, el cual permite restringir el flujo sanguíneo venoso y causar la acumulación de sangre en los vasos sanguíneos distales al manguito, así como también restringir el flujo sanguíneo arterial.⁸

Pese a lo anterior, cabe advertir que, en la práctica, se han encontrado diversas variantes de aplicación de este sistema de entrenamiento, lo cual se debe a que aún se considera una técnica de entrenamiento relativamente nueva. De este modo, todavía queda trabajo por hacer en aras de determinar un protocolo para su ejecución que garantice su máximo rendimiento.⁷

Discusión

Tras la revisión de la literatura citada y reportada a lo largo del presente texto, se reflexiona que la mayor limitación para que el EOv sea aceptado y prescrito en su totalidad como una alternativa clínica sería reside en la falta de un cuerpo de investigación más robusto en torno a la materia. Al realizar una lectura comparada de las fuentes de los artículos disponibles en la red sobre el tema, no puede evitar advertirse que la mayoría basa su investigación en un pequeño cúmulo de autores que han desarrollado estudios iniciales, cuya información es replicada una y otra vez —por ejemplo, las investigaciones de Loenneke^{7,17} y Abe^{6,8}—. Por consiguiente, la literatura, aunque abundante, es redundante, un indicador de que se trata de un tema de estudio no desarrollado del todo.

Así, puede afirmarse que es una necesidad dentro del campo de estudio de esta técnica el contar con mayores y más rigurosos estudios que aporten información nueva y relevante. En su mayoría, los grupos valorados han correspondido con los de atletas o personas sedentarias sanos, dejando de lado la experimentación con grupos de riesgo y en condición clínica. Entonces, se requieren estudios que analicen

a más individuos en proceso de rehabilitación debido a una lesión o posterior a una intervención quirúrgica, tanto pacientes postoperados de artroplastia de rodilla como de intervenciones quirúrgicas en otras áreas de cuerpo. También se recomienda analizar a más sujetos en edades avanzadas. Además, se deben estudiar personas con ciertas patologías que se relacionen con las respuestas metabólicas dirigidas a la hipertrofia y resistencia muscular. A partir de aquí, se podrán obtener nuevas conclusiones y corroborar resultados.

De tal suerte, a pesar de contar con estudios realizados desde su aparición y la evidencia de sus resultados, hoy en día algunos autores siguen sin dar su consentimiento total sobre la efectividad y seguridad de este sistema de entrenamiento. Así, la determinación puntual de los efectos adversos y la toma de precauciones de seguridad en el uso de este sistema de entrenamiento constituyen un área de oportunidad para la investigación, cuyo impulso amerita mayor interés por parte de la comunidad científica. Una vez que se cuente con mayor evidencia sobre la seguridad e inocuidad de la técnica, se abrirá el campo para realizar estudios más detallados en personas no sanas y adultos mayores.

Conclusiones

Si bien es sabido que el entrenamiento convencional para generar una hipertrofia muscular requiere usar cargas entre 65-75% de 1 RM, la técnica con restricción del flujo sanguíneo brinda la posibilidad de obtener efectos similares con el uso de cargas entre 15-30% de 1 RM. Esto la convierte en una opción atractiva para utilizarla en programas de rehabilitación postoperatoria donde el área a trabajar se preste para el empleo de la técnica, como es el caso de lesiones articulares y/o musculares. Asimismo, se muestra útil para prevenir sarcopenia en adultos mayores y para lograr la hipertrofia muscular en el entrenamiento deportivo de personas sanas.

En el terreno de la investigación sobre la materia, la redundancia de la información hallada en el grueso del cuerpo de la literatura revisada da cuenta de la necesidad de realizar más estudios empíricos para consolidar el conocimiento que se tiene sobre la utilidad de la técnica de EOv y terminar con especulaciones. Si bien todos los estudios analizados en este artículo arrojan resultados satisfactorios —o al menos resultados no adversos—, la información proveniente de estudios originales es escasa, lo que no permite retomar sus conclusiones con entera certidumbre.

Existe aún un vacío de conocimiento para poder determinar con precisión el mecanismo fisiológico exacto por el cual suceden los cambios metabólicos y físicos al usar esta técnica. Asimismo, faltan estudios sobre casos y controles para determinar la seguridad e inocuidad de la técnica, así como exámenes sobre poblaciones no sanas con padecimientos diversos. Luego, de confirmarse la efectividad de la técnica, también será necesario trabajar en el diseño de protocolos de aplicación específicos. Sólo entonces el sistema de EOV podrá ser prescrito con seguridad y tranquilidad como opción terapéutica médica y de entrenamiento deportivo.

REFERENCIAS

- Wernbom M, Järrebring R, Andreasson M, Augustsson J. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *J Strength Cond Res.* 2009; 23 (8): 2389-2395.
- Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res.* 2013; 10 (5): 2914-2926.
- Reina-Ramos C, Domínguez R. Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo e hipertrofia muscular. *Rev Int Cienc Deporte.* 2014; 10 (38): 366-382.
- Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bembien MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports.* 2011; 21 (4): 510-518.
- Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Bembien MG. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses.* 2012; 78 (1): 151-154.
- Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol.* 2007; 103 (3): 903-910.
- Martín-Hernández J, Marín PJ, Menéndez H, Ferrero C, Loenneke JP, Herrero AJ. Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scand J Med Sci Sports.* 2013; 23 (2): 114-120.
- Abe T, Kearns C, 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 (5): 1460-1466.
- Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish dis-use atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32 (12): 2035-2039.
- Biscontini C. Blood flow restriction training considerations. *Orthop Rheumatol Open Access J.* 2017; 8 (5): 001-002.
- Pant G, Dorjee-Bhuti U. Effect of restricted blood flow on muscle hypotrophy & O₂ saturation level on weight training. *Int J Phys Educ Sports Health.* 2017; 4 (2): 316-317.
- Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bembien MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112 (5): 1849-1859.
- Loenneke JP, Pujol TJ. The use of occlusion training to produce muscle hyper-trophy. *Strength Cond J.* 2009; 31 (3): 77-84.
- Martín-Hernández J, Marín PJ, Herrero AJ. Revisión de los procesos de hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento de fuerza oclusivo. *Rev Andal Med Deporte.* 2011; 4 (4): 152-157.
- Vanwyke WR, Weatherholt AM, Mikesky AE. Blood flow restriction training: implementation into clinical practice. *Int J Exerc Sci.* 2017; 10 (5): 649-654.
- Martínez-González D. Aplicación del entrenamiento oclusivo como prevención y tratamiento de lesiones [Tesis]. Soria: Universidad de Valladolid; 2017. Disponible en: <https://goo.gl/jbeMZc>.
- Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112 (8): 2903-2912.
- Fitzgerald MA, Rankin W. Blood flow restriction (BFR) therapy in musculoskeletal rehabilitation. *Arch Sports Med.* 2018; 2 (1): 103-105.
- Lymeris K. Blood flow restriction resistance training: potential benefits of choking the muscles. *Strength Cond J.* 2014; 36 (3): 62-63.
- Gamboa-Sierra DA, Osma-López ST, Ramírez-Torres YT, Rincón-Jiménez KJ, Figueroa-Suárez J. Efecto de la restricción del flujo sanguíneo sobre el diámetro transversal, fuerza isométrica de cuádriceps y funcionalidad, en mujeres sanas de la Universidad de Santander - UDES sede Bucaramanga 2016 [Internet]. Colombia: Universidad de Santander-UNDES; 2016. Disponible en: <https://goo.gl/M58YH8>.

Dirección para correspondencia:

Luis Antonio Flores-García

Santa Julia Núm. 90, Col. Vicente Villada,
57710, Nezahualcóyotl, Estado de México.
E-mail: drloisflores@hotmail.com