



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2011;4(3):116-124

www.elsevier.es/ramd



Revisión

Entrenamiento de fuerza combinado con oclusión parcial superimpuesta. Una revisión

I. Chulvi-Medrano

Servicio de Actividad Física de NOWYOU. Valencia. España.

Historia del artículo:

Recibido el 18 de enero de 2011

Aceptado el 1 de mayo de 2011

Palabras clave:

Restricción de flujo sanguíneo.

Entrenamiento de fuerza.

Oclusión vascular.

Key words:

Restriction of blood flow.

Resistance training.

Vascular occlusion.

RESUMEN

Recientemente se ha combinado la realización de ejercicio físico con la restricción parcial de flujo sanguíneo muscular. Esta nueva metodología de entrenamiento se realiza con ejercicio de muy baja intensidad, pero obtiene beneficios tanto estructurales como funcionales, muy similares a los conseguidos con entrenamientos de elevada intensidad. Consecuentemente, se puede mejorar la condición física sin daños musculares ni sobrecargas excesivas a nivel cardiovascular, aunque requiere de gran motivación para su ejecución. No obstante, esta novedosa metodología apunta hacia su posible aplicación en segmentos de la población que necesitan beneficiarse de la práctica de ejercicio físico pero tienen contraindicado el ejercicio de alta intensidad. Así pues, el objetivo de la presente revisión es enumerar las respuestas y los beneficios de la oclusión parcial de flujo sanguíneo, discutir los mecanismos fisiológicos y establecer recomendaciones generales para su aplicación y sugerir futuros estudios.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Resistance training combined with superimposed partial occlusion. A review

Recently it has combined physical exercise with partial restriction of muscle blood flow. This new methodology of training can be applied with low intensity exercise stimulus, but get both structural and functional benefits, similar to those achieved with more intensive training. Consequently, it can improve fitness without excessive strain or muscle damage at the cardiovascular level but it requires great motivation for implementation. However, this new method points to its possible application in segments of the population who need to benefit from physical exercise but have contraindications to the high-intensity exercise. Thus, the purpose of this review is to list the answers and the benefits of partial occlusion of blood flow, to discuss the physiological mechanisms and to establish general recommendations for its implementation and suggest future studies.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

I. Chulvi-Medrano.

Falta

Falta.

Introducción

Actualmente resulta innegable la importancia que han cobrado los programas de acondicionamiento neuromuscular en el campo del entrenamiento deportivo^{1,2}. En la última década, la investigación ha obtenido evidencias suficientes como para recomendar el entrenamiento neuromuscular sistemáticamente como herramienta para preservar la salud integral de quien lo practica³⁻⁵. Los beneficios reconocidos del entrenamiento muscular adecuado pueden disfrutarse a cualquier edad⁵, incluyendo edades prepuberales y nonagenarias⁶.

Los especialistas en entrenamiento de fuerza recomiendan fundamentar los programas de entrenamiento en la individualización, la variación y la progresión⁵. Sin embargo, en ciertas circunstancias resulta prácticamente imposible realizar progresiones del entrenamiento hacia mayores intensidades, para obtener hipertrofia muscular (al menos el 65% de una repetición máxima [1RM]⁵, y hasta el 80-95% 1RM)⁷, como es el caso de lesiones, limitaciones ortopédicas, patologías o inadaptación a las cargas. Ante estas situaciones la progresión del entrenamiento está comprometida, y con ella los potenciales beneficios derivados del incremento morfológico y funcional del sistema neuromuscular.

Así pues, encontrar alternativas al entrenamiento de alta intensidad, para que puedan ser realizadas por aquellos segmentos de la población que no tienen acceso a él es un objetivo de vital importancia, y entre estos segmentos destaca especialmente la población adulta con tendencia a la sarcopenia o la dinapenia⁸.

En la presente revisión se profundiza en una alternativa que deriva de ensayos japoneses que de forma preliminar han obtenido resultados similares sobre el incremento de la fuerza y la hipertrofia muscular a los conseguidos por el entrenamiento de alta intensidad. Esta herramienta metodológica se conoce como entrenamiento con oclusión vascular superimpuesta (*Kaatsu por su nombre comercial en Japón*).

Debido a su popularidad, se realizó una encuesta entre los entrenadores y hospitales que aplicaban el Kaatsu en Japón (105 encuestados) y las conclusiones de dicha investigación fueron¹⁹: a) es aplicable a un gran rango de edad, desde jóvenes adultos, hasta ancianos; b) el principal objetivo de su aplicación fue el fortalecimiento muscular deportivo o la promoción de la salud; c) ha sido aplicado exitosamente en condiciones fisiopatológicas como *enfermedades cerebrovasculares, problemas ortopédicos, diabetes mellitus, hipertensión y enfermedades respiratorias*; d) el Kaatsu ha sido combinado con los ejercicios de caminar, pedalear y ejercicios de fuerza; e) la dosis media ha sido desde 5 hasta los 30 minutos, con una frecuencia de entre 1 y 3 días semanales; f) el 80% de los encuestados está satisfecho con los resultados obtenidos; g) sólo se ha observado un pequeño número de efectos laterales de carácter leve.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de la presente revisión ha sido revisar la literatura respecto al entrenamiento de fuerza combinado con oclusión parcial superimpuesta, para detallar los principales efectos y los posibles mecanismos biológicos, además de realizar unas recomendaciones y aplicaciones prácticas, así como sugerir posibles estudios futuros.

Método

Se ha realizado una revisión de la literatura publicada, sin importar el diseño del estudio, en relación con el entrenamiento de fuerza con oclusión vascular superimpuesta. La búsqueda se ha limitado a trabajos en-

tre 1990 y 2011 (cerrando la búsqueda en mayo del 2011), utilizando las bases de datos SportsDiscus y MedLine. Para la búsqueda, se usaron las palabras clave *ischaemic training, low blood flow training, kaatsu* o la combinación de las mismas. Si en alguno de los trabajos encontrados aparecía alguna referencia de interés se realizaba una búsqueda adicional. La búsqueda fue restringida a trabajos en inglés. Para ampliar la búsqueda fueron consultados manuales específicos tanto en inglés como en español.

El principal criterio de inclusión para el análisis del estudio relativo al entrenamiento con oclusión fue que estuviese publicado en un *journal peer-review*, y que el estudio hubiese sido realizado en seres humanos aplicando una oclusión parcial del flujo sanguíneo mediante un torniquete externo. Así pues, no fueron incluidos para la presente revisión los estudios llevados a cabo con animales, ni con aplicación de oclusiones vasculares quirúrgicas.

La búsqueda generó 259 referencias relevantes. Cuando fueron leídos los *abstracts* con posibilidad de inclusión, se obtuvieron los artículos completos para ser leídos y analizados.

Del total de estudios que fueron aceptados para la presente revisión siguiendo los criterios de inclusión/exclusión, 54 fueron estudios originales y 9 revisiones sistemáticas.

Entrenamiento con oclusión vascular parcial superimpuesta

El fenómeno de oclusión vascular (reducción del flujo sanguíneo) ha sido ampliamente estudiado desde el campo de la fisiopatología debido a las lesiones subsiguientes a esta situación de isquemia-reperusión (I-R)^{10,11}, resultando ampliamente estudiado en el corazón¹², o tras un implante de órganos¹³. Los mecanismos lesivos de la I-R acontecen a nivel celular y a nivel molecular, afectando de forma similar a los órganos afectados¹⁴. En este sentido, parecen existir evidencias suficientes como para sugerir que los mecanismos lesivos responden a una respuesta sistémica inflamatoria^{15,16} o a una disfunción orgánica múltiple¹⁶.

En el caso del entrenamiento con oclusión vascular parcial superimpuesta (OCPS) se produce una situación fisiopatológica muy similar a I-R. Es decir, se reduce parcialmente el flujo sanguíneo –en este caso muscular– por medio de un torniquete externo, y se realiza el esfuerzo muscular con baja intensidad¹⁷.

Diversos estudios han encontrado que esta modalidad de entrenamiento (OCPS) obtiene mejoras similares sobre la fuerza y la hipertrofia cuando es comparado con el entrenamiento de alta intensidad¹⁸⁻²⁰. Algunos autores han expuesto los posibles mecanismos que explicarían esta respuesta similar y que son enumerados a continuación.

Incremento de la respuesta hormonal anabólica

El entrenamiento con OCPS incrementa significativamente la liberación de hormonas con una potente acción sobre el crecimiento muscular como es la hormona del crecimiento (GH), IGF-1, NA^{21,22}.

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

El entrenamiento con OCPS incrementa la acidez intramuscular, situación que podría ser la causante del incremento en la producción de GH por el entrenamiento OCPS²¹⁻²³.

Mayor reclutamiento de las fibras rápidas

La OCPS deriva a un entorno hipóxico que requerirá el reclutamiento de nuevas unidades motoras anaeróbicas para mantener el nivel de fuerza^{21,24}. Según el principio del tamaño o de Henneman, estas unidades con mayor capacidad de generar fuerza y con mayor potencial hipertrófico son reclutadas con grandes esfuerzos. No obstante, el OCPS podría permitir entrenar con bajas cargas y obtener el mismo reclutamiento de fibras rápidas que durante entrenamientos de alta intensidad²⁵, tal y como ha sido sugerido por Carpinelli²⁶ tras su replanteamiento fisiológico del principio del reclutamiento de Henneman.

Los mecanismos desencadenados por la oclusión potenciarán los efectos del entrenamiento de fuerza de baja intensidad. Incremento de la síntesis proteica por activación de señalizaciones intracelulares²²

Existen robustas evidencias que demuestran que el ejercicio activa señalizaciones intracelulares que incrementan la subsiguiente síntesis de proteínas y crecimiento celular²⁷, especialmente el entrenamiento contra resistencias²⁸ debido a la tensión mecánica que desencadena²⁹.

Diversos estudios han intentado discernir cuáles son los mecanismos biológicos y de señal celular que promueve la síntesis proteica que desencadenará el crecimiento celular como consecuencia del OCPS. Así por ejemplo, Drummond et al³⁰ identificaron que una sesión de OCPS alteraba el mARN durante el periodo post-ejercicio para los genes asociados con el crecimiento muscular y el *turnover* proteico, regulador en el desarrollo y respuesta de daño del ADN (REDD1) (↓), factor 1 alfa inducido por la hipoxia (HIF-1alfa) (↓), inhibidor de la cinasa dependiente de la ciclina 1a p21 (↑), diferenciación miogénica MyoD (↑), *muscle-specific ring finger* MuRF1 (↑), miostatina (↑).

S6K1, mTOR

En 2007, Fujita et al³¹ registraron un incremento de la síntesis proteica del músculo por una mayor actividad de la fosforilación de la ribosoma S6 kinasa 1, sugiriéndose un incremento de la translación para la posterior síntesis proteica. También sugirieron que la activación de la vía de señalización celular del *mammalian target of rapamicin* (mTOR) puede estar muy involucrada en la hipertrofia muscular tras el entrenamiento OCPS. La importancia de la vía de la mTOR en la hipertrofia inducida por el OCPS ha sido corroborada en una reciente investigación³².

En un estudio llevado a cabo con ratas a las que se les aplicó una oclusión crónica, los factores más importantes que justifican el incremento de la masa muscular fueron las proteínas de choque térmico (*heat shock protein-72* [HSP-72]), descenso de la expresión de la miostatina y el incremento en la actividad de la sintasa-1 del óxido nítrico (NOS-1)^{24,33}.

Efectos estructurales de la oclusión vascular parcial superimpuesta

Uno de los efectos principales del OCPS se centra en las modificaciones estructurales que desencadena pese a realizar un estímulo de entrenamiento de baja intensidad y gran número de repeticiones, en cortos periodos de tiempo.

Estos cambios resultan similares a los recogidos en estudios de 2-3 meses de duración aplicando mayores intensidades de las llevadas a cabo por el OCPS³⁴.

Debido al perfil de baja intensidad del entrenamiento, ha sido ampliamente utilizado en personas con debilidad muscular, atrofas y personas de edad avanzada.

La aplicación del OCPS generó mayor recuperación que un protocolo típico de re-musculación basado en las isometrías, en sujetos sometidos a un proceso de debilitamiento muscular por dos semanas³⁴. De la misma forma, el OCPS se ha mostrado eficaz en un caso de mioisitis, obtenido por Gualano et al³⁵. Esta patología, considerada una miopatía inflamatoria idiopática rara, está caracterizada por una atrofia muscular generalizada. En este ensayo, el sujeto realizó 12 semanas de entrenamiento de fuerza combinado con oclusión vascular, obteniendo incrementos de la masa muscular³⁵.

Otra característica del OCPS es la prevención de atrofas ante situaciones que pueden desencadenarlas, como es el caso de las lesiones, así pues, Sata³⁶ aplicó el entrenamiento de oclusión en una paciente con tendinitis rotuliana, y observó que se reducía el dolor y se evitaba la atrofia del músculo cuádriceps típica de esta lesión.

Ishii et al³⁷ relacionan el porcentaje de incremento en el área de sección transversal muscular con la magnitud de la oclusión. Esta idea surge al comparar su moderado incremento de un 3%, aplicando oclusiones de 50-80 mm Hg para los ejercicios de miembros superiores y de 80-120 mm Hg para los miembros inferiores, frente a otros estudios que observan mayores grados de hipertrofia. Incrementos de entre un 7 y 8% de la masa muscular fueron descritos por Abe et al²², en sujetos activos pero sin experiencia en el entrenamiento neuromuscular tras 24 sesiones de intervención –a razón de 2 sesiones diarias durante 2 semanas– con OCPS.

El objetivo del estudio liderado por Yasuda et al³⁴ fue determinar el porcentaje de crecimiento en el tipo de fibra muscular tras una intervención de OCPS basada en la realización de 2 sesiones diarias durante 2 semanas. Estos investigadores comunican un incremento de un 27% para las fibras tipo II y un incremento del 6% para las fibras tipo I. Con estos resultados, los autores sugieren que el OCPS genera una hipertrofia preferencial sobre las fibras tipo II.

Estos incrementos tróficos (3,1%) del sistema muscular han sido descritos incluso tras entrenamiento de fuerza con OCPS durante 7 días con menos de 24 horas de recuperación entre sesiones³⁸.

Takarada et al³⁹ han demostrado que los efectos del OCPS sobre el incremento de la masa muscular pueden encontrarse incluso en deportistas de alto nivel –jugadores de rugby–.

Aunque no existe un consenso unánime sobre el mecanismo explicatorio de la hipertrofia muscular ante el estímulo del OCPS, Madarame et al⁴⁰ detectan que el efecto provocado por el entrenamiento con oclusión en las piernas puede afectar positivamente a los brazos (*cross-transfer effect*), sugiriendo que probablemente existen factores sistémicos liberados tras el entrenamiento. Pese a este efecto, los propios autores asumen la necesidad de un estímulo local obtenido por el ejercicio físico con el fin de favorecer la hipertrofia muscular.

La aplicación del OCPS para la mejora del tronco superior (pectoral mayor y gran dorsal, principalmente) resulta imposible, puesto que la ubicación del torniquete requeriría colocarse sobre la región cervical, con todas las complicaciones que ello supondría. Sin embargo, con el objetivo de ver la influencia de colocar el torniquete en los brazos mientras se realiza un ejercicio de *press* de banca, Yasuda et al⁴¹ detectaron un incremento de la masa muscular del pectoral mayor de un 16%, en 10 jóvenes sanos con poca o nula experiencia en el entrenamiento de fuerza. Una potente

limitación de este estudio es la falta de un grupo de entrenamiento sin OCPS para poder comparar los efectos del entrenamiento sin OCPS, y discernir si el incremento puede atribuirse a la aplicación de la oclusión.

Los efectos del OCPS no resultan exclusivos del entrenamiento contra resistencias. Su aplicación durante un entrenamiento aeróbico basado en caminar 5 series de 2 minutos 2 veces al día, con una frecuencia de 6 días a la semana durante 3 semanas, produjo un incremento del área de sección transversal muscular de aproximadamente un 2% por semana durante un estudio que se prolongó hasta 3 semanas de intervención⁴².

Las respuestas tróficas del entrenamiento OCPS han sido registradas también en personas de edad avanzada. En esta línea, el reciente ensayo de Abe et al⁴³ demuestra un incremento del volumen muscular de las piernas entre un 6 y un 10,7% tras un programa de entrenamiento aeróbico combinado con oclusión.

Los resultados de la combinación de ejercicio físico, ya sea orientado a la aptitud neuromuscular o a la cardiovascular, ven amplificado el estímulo biológico debido a la isquemia provocada por el OCPS.

Efectos funcionales de la oclusión vascular parcial superimpuesta

Además del incremento de la sección transversal del músculo, el OCPS ha obtenido resultados a nivel funcional muy alentadores para diferentes poblaciones.

Población adulta con edad avanzada

El incremento de fuerza muscular en las piernas de un grupo de hombres de edad avanzada que practicaba OCPS combinado con 20% de 1RM incrementó de igual forma que en un grupo similar que realizó los mismos ejercicios con un 80% 1RM⁴⁴.

Takarada et al⁴⁵ registran incrementos de fuerza muscular en las piernas de un grupo de hombres de edad avanzada que practicaba OCPS combinado con un 20% de 1RM. En un estudio posterior de características similares se obtuvieron registros muy parecidos, pero además añadieron que los incrementos de fuerza resultaban similares a los registrados cuando se realizaba el mismo entrenamiento sin OCPS pero con una intensidad de un 80%⁴⁴.

De forma añadida, el OCPS aplicado a ejercicio cardiovascular como caminar, durante 20 minutos con una intensidad del 45% de la frecuencia cardiaca de reserva con una frecuencia de 4 días semanas durante 10 semanas, también ha generado incremento de la fuerza muscular isocinética (22%) e isométrica (5,9%), además de aumentar en un 3,7% la masa muscular en un grupo de 10 personas que superaban los 64 años⁴⁶.

Población joven

Las mejoras de la aplicación del OCPS también han sido descritas en población atlética. Así pues, Abe et al⁴⁷ observan que la aplicación de OCPS durante 8 días produce un incremento de la velocidad en un test de *sprint* de 30 metros y un incremento de un 10% de la fuerza en la prensa de piernas. En otro estudio similar, Takarada et al³⁹ describen un incremento de la fuerza y la resistencia musculares en un grupo de jugadores de rugby.

De forma aguda, la oclusión parcial puede significar una reducción entre una 24-33% de la fuerza máxima isométrica frente a una reducción aproximada del 19% cuando se realiza el mismo esfuerzo sin dicha oclusión⁴⁸.

Abe et al³⁸, tras un estudio de caso único con una persona de 47 años, pudieron determinar un incremento aproximado de un 3% en la fuerza isométrica y de un 18% de la fuerza dinámica de los extensores de la rodilla tras una intervención consistente en un entrenamiento de 7 días consecutivos con OCPS dos veces al día.

Los efectos tanto de mejora de la fuerza muscular, como de incremento hipertrófico, parecen obtenerse con un entrenamiento de baja intensidad. A esta conclusión llegan Laurentino et al⁴⁹, quienes no encontraron diferencias significativas entre la aplicación del OCPS con intensidades elevadas (6RM [80%]) frente a intensidades moderadas (12RM [60%]).

Al igual que el incremento de la masa muscular, la fuerza muscular de las piernas también se incrementa tras un periodo de entrenamiento aeróbico –caminando– aplicando el OCPS^{42,50}.

Población lesionada o enferma

El declive inherente a los procesos de no-carga, como es un encamamiento, puede revertirse con la aplicación de la oclusión parcial⁵¹. Así pues, tal y como ha sido sugerido por diversos autores, podría ser una herramienta muy útil para los astronautas y las personas con encamamiento forzado^{52,55}.

El OCPS ha demostrado sus potenciales beneficios, incluso en patologías musculares inflamatorias como es una miositis³⁵.

Para el tratamiento de una tendinitis rotuliana, Sata³⁶ aplicó el entrenamiento de oclusión, y observó que se reducía el dolor y que se evitaba la atrofia del cuádriceps típica de esta lesión, sin generar efectos adversos.

Respuestas agudas de la oclusión vascular parcial superimpuesta

Respuestas musculares de la oclusión vascular parcial superimpuesta (electromiograma y daño muscular)

Una de las hipótesis a la que se pueden atribuir los efectos del entrenamiento del OCPS es el incremento de la actividad muscular. El electromiograma (EMG) durante ejercicios con OCPS fue el objetivo de diversos estudios, que han demostrado un incremento de la EMG durante el ejercicio con oclusión parcial^{24,39,45}.

Atendiendo a los trabajos más recientes, puede ser corroborada dicha conclusión tanto para los grupos musculares ocluidos directamente^{54,55}, como para aquellos que no están ocluidos directamente³⁴, deduciéndose, por tanto, la importancia de los factores sistémicos tanto a nivel hormonal como metabólico²², como se ha visto anteriormente.

En primer lugar, Yasuda et al⁵⁴ encontraron un incremento de la actividad muscular para el bíceps braquial –durante el ejercicio de *curl* de bíceps–. Además, los autores encontraron que la compresión óptima para obtener los valores más elevados de EMG se encontraban entre 147 y 160 mm Hg. Un factor destacable del estudio fue que no existió un incremento de la fatiga paralelo al incremento de la EMG. El incremento de la EMG y su relación con la actividad muscular también ha sido encontrado en los músculos de la pierna cuando se aplica OCPS⁵⁵.

En una investigación previa, se observó que la ejecución del *press* de banca con oclusión parcial realizado al 30% de 1RM correspondía a valores de actividad muscular del pectoral mayor, muy próximos a los obtenidos para el mismo ejercicio sin oclusión con una carga del 60-70% 1RM⁵⁶.

El fenómeno que podría explicar que los valores de EMG sean similares entre el OCPS y el entrenamiento de alta intensidad dependen principalmente de la carencia de disponibilidad de oxígeno que requerirá del

reclutamiento de motoneuronas adicionales para compensar el déficit en la capacidad de generar fuerza²².

Con respecto al daño muscular, existe una escasa producción científica; así Loenneke et al⁵⁷, en su trabajo de revisión, concluyen que el OCPS no genera modificaciones en los valores de la creatinina ni de la mioglobina, por lo tanto, y a falta de nuevos estudios, el OCPS causa un mínimo daño muscular, habiendo sido corroborada esta afirmación recientemente⁴¹.

Respuestas cardiovasculares y hematológicas

Un factor que resulta clave para la seguridad de esta novedosa metodología de entrenamiento es la respuesta aguda que desencadena en el sistema cardiovascular y sobre las condiciones hematológicas.

Con el objetivo de observar las respuestas del sistema de coagulación, recientemente se han analizado los factores de coagulación (protrombina y complejo III trombina-antitrombina) tras una intervención aguda de OCPS consistente en 4 series (1 serie por 30 repeticiones y 3 series por 15 repeticiones) realizadas al 30% de 1RM con una oclusión de 150-160 mm Hg. Este ensayo permitió concluir a los autores que en sujetos sanos, la aplicación del OCPS no activa el sistema de coagulación y, con ello, no existe riesgo de trombos asociados⁴⁰.

Los efectos del OCPS sobre el sistema cardiovascular mientras se camina con una oclusión de 160 mm Hg fue motivo de una reciente investigación que permitió observar un incremento en la tensión arterial, tanto sistólica, como diastólica, además de incrementar el doble producto -índice de demanda de oxígeno sobre el miocardio³³.

Pese al incremento de los valores de la tensión arterial, debe precisarse que dichos incrementos serán inferiores a los obtenidos por la realización del mismo ejercicio con una elevada intensidad⁵⁸ y, por tanto, no se aproximan al rango de peligrosidad expuesto por autores como McDougall et al⁵⁹, quienes registran valores superiores a 250/150 mm Hg.

La OCPS aplicada a las piernas desencadena un estancamiento o *pooling* que reduce el retorno venoso, situación que genera un descenso significativo del rendimiento cardíaco⁶⁰. En un trabajo posterior, se pudo comprobar que la OCPS sin realizar ejercicio estimulaba el sistema nervioso autónomo parasimpático cardíaco.

Por último, resultan destacables los resultados del estudio de Takano et al⁶¹ quienes observan un incremento del factor de crecimiento vascular endotelial tras la intervención con OCPS. Esta respuesta fue atribuida a la reducción de la precarga cardíaca durante el ejercicio, tal y como fue registrada por Takano et al⁶¹. Así pues, puede resultar una alternativa de ejercicio de gran interés para personas con enfermedades cardíacas o con bajo estado de forma física.

Respuestas óseas

Las respuestas óseas al entrenamiento con OCPS no han sido muy estudiadas, pero los resultados preliminares son interesantes.

Así, en un trabajo pionero liderado por Beekley⁶² se comprueba cómo el entrenamiento basado en caminar con OCPS (160 y 230 mm Hg) durante 3 semanas incrementa la fosfatasa alcalina específica del hueso, considerada un reflejo de la actividad osteoblástica y, por tanto, un marcador de formación ósea⁶². En un trabajo posterior, se comprobó que el estímulo provocado por la combinación de ejercicio de fuerza con OCPS genera un evidente efecto sobre el metabolismo óseo disminuyendo la resorción ósea⁶³. Aunque estos resultados previos muestran un efecto sobre el sistema óseo, existe una evidente carencia de estudios al respecto.

Así pues, debe ser advertido que el entrenamiento de baja carga podrá suponer un estímulo muy bajo para generar las adaptaciones sobre ligamentos y tendones.

En el único estudio encontrado que analiza el efecto del OCPS sobre tendones, Kubo et al⁶⁴ sometieron a 9 sujetos a un entrenamiento de 12 semanas a razón de 3 días semanales. El entrenamiento consistía en la realización de extensiones de rodilla en máquina. El ejercicio se realizó unilateralmente, con el fin de aplicar el OCPS sobre una pierna, y un entrenamiento de fuerza tradicional de alta intensidad sobre la otra. El estudio desveló que las propiedades del tendón permanecieron muy similares a los valores iniciales, mientras que se incrementó en la pierna del entrenamiento de alta intensidad. Este fenómeno explicaría los resultados positivos del OCPS para el tratamiento de una tendinitis rotuliana expuesto por Sata⁶⁶.

Respuestas metabólicas

Las respuestas metabólicas consecuencia del OCPS pueden ser el mecanismo principal de las mejoras morfofuncionales sobre el sistema neuromuscular⁶⁵. Desde el punto de vista molecular, Meyer⁶⁵ apunta que el OCPS puede generar una señalización inicial de eventos moleculares que desencadenarán las adaptaciones morfofuncionales (dicha señalización será vista en un apartado posterior), y que difiere de la teoría mecánica de adaptación muscular.

En este sentido, Burgomaster et al⁶⁶ y Suga et al⁶⁷ corroboran la existencia de una mayor modificación metabólica tras la intervención con OCPS, tal y como fue referenciada previamente en el trabajo de revisión de Sundberg²⁴. Así pues, el citado ensayo de Burgomaster refleja un incremento del glucógeno muscular en reposo y una menor cantidad de adenosín trifosfato (ATP) basal tras la intervención⁶⁶.

Los niveles de lactato producidos por el entrenamiento con OCPS resultan muy elevados, pudiendo resultar casi el doble cuando es comparado con el mismo ejercicio sin la oclusión⁴⁴, pero retornan a los valores basales pasados 60 minutos del entrenamiento. En la tabla 1 se presentan los resultados extraídos del trabajo de Sato et al⁶⁸, donde se registraron los valores de lactato sanguíneo tras una intervención aguda de OCPS.

Respuesta hormonal

Debido a los resultados en el incremento del área de sección transversal del músculo tras los entrenamientos con OCPS, una de las variables más analizada hasta el momento es la respuesta hormonal aguda, principalmente de la GH, el factor de crecimiento de la insulina (IGF-1) y noradrenalina (NA). La gran mayoría de los estudios registran un incremento de hormonas que afectan positivamente al crecimiento del organismo. Ha sido observado un incremento de la GH sanguínea tras OCPS^{23,51,61,69}.

En la tabla 2 se presenta la evolución de los valores de GH tras la intervención con OCPS llevada a cabo en el estudio de Sato et al⁶⁸.

Los valores de IGF-1 fueron un 24% más elevados tras el entrenamiento con OCPS¹⁹. Por último, también se observaron valores incrementados de NA en los diferentes estudios^{61,70}.

Hasta el momento, el estudio de la testosterona y el cortisol no ha gozado de tanto análisis en el entrenamiento del OCPS, y los escasos estudios muestran que no se modifican las condiciones basales^{42,71}. Sólo se tiene consciencia de un reciente estudio que analizó la respuesta hormonal en condiciones de hipoxia generada por respirar sólo el 13% de oxígeno durante la ejecución de un programa de entrenamiento de fuerza. Esta situación desencadenó un incremento de la testosterona y el

Tabla 1
Evolución de los valores de lactato registrados por (2005)

	Post-intervención	Post-intervención 15 minutos	Post-intervención 60 minutos
Miembros inferiores Sentadilla y ejercicio de femoral tumbado 3 × 15 repeticiones 20% 1RM con 30 segundos de descanso (OCPS 50% mayor a la tensión arterial sistólica)	11 mmol/l	Ligeramente por debajo de 8 mmol/l	Cercano a los valores basales
Miembros superiores Press de tríceps y curl bíceps 3 x 15 repeticiones 20% 1RM con 30 segundos de descanso (OCPS 50% mayor a la tensión arterial sistólica)	10 mmol/l	Ligeramente por debajo de 6 mmol/l	Cercano a los valores basales

Fuente: Sato Y¹⁷.

Tabla 2
Evolución de los valores de hormona de crecimiento (GH) comunicados en el ensayo de Sato Y

	Post-intervención	Post-intervención 15 minutos	Post-intervención 60 minutos
Miembros inferiores Sentadilla y ejercicio de femoral tumbado 3 × 15 repeticiones 20% 1RM con 30 segundos de descanso (OCPS 50% mayor a la tensión arterial sistólica)	15 ng/ml	25 ng/ml	15 ng/ml
Miembros superiores Press de tríceps y curl bíceps 3 Press de tríceps y curl bíceps 3 x 15 repeticiones 20% 1RM con 30 segundos de descanso (OCPS 50% mayor a la tensión arterial sistólica) 15 repeticiones 20% 1RM con 30 segundos de descanso (OCPS 50% mayor a la tensión arterial sistólica)	10 mmol/l	26 ng/ml	10 ng/ml

Fuente: Sato Y¹⁷.

cortisol circulantes; no obstante, cuando los investigadores compararon la respuesta entre el grupo de normoxia y el de hipoxia no existían diferencias en la liberación de estas hormonas⁷².

Estos datos permiten sugerir que el entrenamiento de OCPS permite una hiperrespuesta de hormonas, que favorecen el entorno anabólico y, con ello, la hipertrofia muscular⁷³. Sin embargo, debe advertirse que a excepción del estudio de Abe et al¹⁹, que prolongó su estudio por 2 semanas, los resultados hormonales de los estudios revisados están obtenidos como respuesta aguada a una única exposición de entrenamiento OCPS.

Capacidad aeróbica como respuesta a la oclusión vascular parcial superimpuesta

La utilización del OCPS (manguitos inflados a 140 mm Hg) durante el esfuerzo aeróbico (15 minutos sobre cicloergómetro a 75 W) genera un aumento del consumo de oxígeno post-esfuerzo, y este incremento ha sido atribuido a la necesidad de neutralizar los metabolitos circulantes ocasionados por la isquemia⁷⁴. Los resultados no son concluyentes, puesto que el estudio se realizó en un número reducido de sujetos, y no se han realizado posteriormente estudios similares para poder confirmar estos datos. Por su lado, Abe et al⁴² obtuvieron una media de 19,5% de consumo máximo de oxígeno realizando 5 series de 2 minutos de caminar con OCPS. Parece ser que el OCPS permite incrementar el consumo máximo de oxígeno hasta en un 11,6% en atletas que están sometidos a un entrenamiento sistemático realizado 2 veces al día durante 6 días semanales y prolongado por dos semanas, consistente en la realización de 5 series de 3 minutos a una velocidad de 4-6 km/hora con una pendiente del 5% y un minuto de descanso⁷⁵.

En el entrenamiento con OCPS, ya sea combinado con ejercicio cardiovascular²⁴ con ejercicio de fuerza⁷⁶, existe un incremento de la capilarización y de la capacidad oxidativa que podría generar una mejora del consumo máximo de oxígeno.

Percepción de esfuerzo

Debido a los cambios en la manipulación de las variables del entrenamiento de fuerza obligados por la superposición de la oclusión parcial, muchos investigadores han utilizado la escala de percepción de esfuerzo para controlar la dosis o el estímulo de entrenamiento desencadenado por el OCPS. Así pues, parece ser que la aplicación del OCPS desencadena una percepción de esfuerzo y dolor (puntuación 6, en una escala de 0 a 10, dolor moderado) similar a un entrenamiento de moderada-alta intensidad⁷⁶. En este estudio, Hollander et al⁷⁷ reclutaron a 7 hombres con experiencia para realizar un entrenamiento de moderada-alta intensidad (3 series al fallo muscular con una carga del 70% 1RM) para comparar con un protocolo con OCPS (3 series al fallo muscular con una carga del 30% 1RM). Cuando se compara el protocolo de ejercicio suave moderado con OCPS y sin OCPS, la percepción de esfuerzo y del dolor resultan muy similares⁷⁸. Estos resultados han sido recientemente reproducidos comparando un ejercicio de extensión de rodilla⁷⁹.

Parece ser que el OCPS también desemboca en una mayor percepción de dolor⁷⁹. Este dolor puede abarcar incluso el dolor muscular post-esfuerzo de aparición tardía (DOMS). En esta línea, Umbel et al⁸⁰ describen que los sujetos de su ensayo manifestaban más dolor al cabo de 24, 48 y 96 horas post-esfuerzo superior cuando realizaban el ejercicio con OCPS que cuando era realizado sin la oclusión.

Pese a estos incrementos en la percepción de esfuerzo y la percepción del dolor muscular post-esfuerzo, existen evidencias contrastadas que demuestran que el ejercicio con OCPS no eleva los marcadores de daño muscular. En un estudio donde los sujetos realizaban un entrenamiento aeróbico mediante caminatas con OCPS (17 minutos con una oclusión de aproximadamente 230 mm Hg), los investigadores no hallaron incrementos en la mioglobina ni en la creatinfosfocinasa (CPK)⁴². Tampoco se registraron valores elevados de los mismos marcadores durante la intervención del OCPS (realizando una progresión en el valor de

Tabla 3

Recomendaciones para el entrenamiento con oclusión vascular parcial superimpuesta. Basada en los datos obtenidos de la presente revisión

Variables	Ejercicio cardiovascular	Ejercicio de fuerza
Nivel de oclusión	De 1,3 veces de la tensión arterial, hasta 250 mm Hg	De 1,3 veces de la tensión arterial, hasta 300 mm Hg
Dosis de ejercicio	Mínimo de 2 semanas, 6 días semanales 5 series de 5-10 minutos de ejercicio aeróbico, caminar, bicicleta	Mínimo de 3 semanas, 4-5 sesiones semanales 1 serie de calentamiento por 30 repeticiones (20-30% 1RM) 3 series de 15-30 repeticiones (20-30% 1RM), llegando al fallo muscular
Descanso de la oclusión	Continuo	Continuo/intermitente (descanso de la OCPS 30 segundos)

OCPS: oclusión vascular parcial superimpuesta.

oclusión hasta los 240 mm Hg) durante los ejercicios de fuerza de sentadilla y de femorales tumbado¹⁹.

En el estudio de Takarada et al⁴⁵ fue detectado un incremento de interleucina-6 (IL-6), fenómeno que atribuyeron a microdaños que podrían provenir tanto del tejido muscular como de las paredes vasculares.

Recomendaciones y consideraciones del entrenamiento con oclusión vascular parcial superimpuesta

Debido a la gran cantidad de variables que afectan al entrenamiento con OCPS, no puede ser concretada en consenso la dosis óptima del entrenamiento para desencadenar las respuestas y adaptaciones específicas, no obstante, se pueden sugerir unos intervalos lógicos basados en la información disponible (tabla 3). Debido a la escasez de datos experimentales, basados en los conocimientos generales, se debería advertir que largas exposiciones de oclusión parcial o exposiciones de oclusión total pueden generar daños irreversibles^{31,81}, especialmente en el sistema cardiovascular⁴⁵.

Las recomendaciones de Takarada et al⁴⁵ aluden a una oclusión de 1,3 veces la tensión arterial sistólica, pudiendo llegar a 300 mm Hg de oclusión en algunos casos.

Como el entrenamiento con OCPS resulta poco confortable, y en ocasiones doloroso, especialmente en sujetos poco entrenados, su aplicación debería estar reservada a sujetos con alta motivación, además de ser realizado entre los primeros ejercicios de la sesión de entrenamiento.

Por último, resulta necesario citar que muchas investigaciones y aplicaciones clínicas han utilizado el dispositivo específico para realizar la oclusión, conocido como Kaatsu, que puede resultar en muchas ocasiones caro y difícil de conseguir. Como consecuencia, Loenneke y Pujol¹²¹ han aplicado cintas elásticas, obteniendo los mismos efectos. Intentado reproducir esos hallazgos, en mi laboratorio ha sido reproducido con elementos similares, siempre controlando los cambios de la tensión arterial. Nuestros resultados preliminares, que aún no han sido publicados, muestran efectos similares.

Conclusión

El entrenamiento de OCPS genera un entorno hipóxico intramuscular que incrementa la producción de metabolitos durante el ejercicio y un incremento de la respuesta endocrina. Estos mecanismos aumentan la señalización intracelular que favorece las adaptaciones morfofuncionales a nivel neuromuscular. Se necesitan nuevos estudios para poder entender y aplicar correctamente esta metodología de entrenamiento.

Bibliografía

- Komi PV, editor. Strength and power in sport. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science; 2003.
- Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs. Champaign: Human Kinetics; 2004.
- Graves JE, Franklin BA, editors. Resistance training for health and rehabilitation. Champaign: Human Kinetics; 2001.
- Rodríguez PL. Ejercicio físico en salas de acondicionamiento muscular. Bases científico-médicas para una práctica segura y saludable. Madrid: Panamericana; 2008.
- Ratamess NA, Alvar BA, Evetock TK, Housh TJ, Kibler WB, Kraemer WJ, et al. Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc 2009;41(3):687-708.
- Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ. High-intensity strength training in nonagenarians: effects on skeletal muscle. JAMA. 1990;263:3029-34.
- Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. Sports Med. 2004;34(10):663-79.
- Clark BC, Manini TM. Functional consequences of sarcopenia and dynapenia in the elderly. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2010;13(3):271-6.
- Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, et al; KAATSU training group. Use and safety of Kaatsu training. Results of a national survey. Int J Kaatsu Training Res. 2006;2:5-13.
- Tapurina N, Kumar Y, Habib MM, Abu Amara M, Seifalian AM, Davidson BR. Remote ischemic preconditioning: a novel protective method from ischemia reperfusion injury a review. J Surg Res. 2008;150(2):304-30.
- Gross GJ, Auchampach JA. Reperfusion injury: does it exist? J Mol Cell Cardiol. 2007;42:12-8.
- Turer AT, Hill JA. Pathogenesis of myocardial ischemia-reperfusion injury and rationale for therapy. Am J Cardiol. 2010;160(3):360-8.
- Macedo FI, Miranda LE. Role of ischemic preconditioning in liver transplant: a review of literature. Exp Clin Transplant. 2010;8(1):1-3.
- Ildefonso JA, Arias-Díaz J. Fisiopatología de la lesión hepática por isquemia-reperusión. Cir Esp. 2010;87(4):202-9.
- Pasupathy S, Homer-Vanniasinkam S. Ischaemic preconditioning protects against ischaemia-reperfusion injury: emerging concepts. Eur J Vas Endovasc Surg. 2005;29:106-15.
- Dorweiler B, Pruefer D, Andrasi TB, Maksin SM, Schmiedt W, Neufang A, et al. Ischemia-reperfusion injury. Pathophysiology and clinical implications. Eur J Trauma Emerg Surg. 2007;6:600-12.
- Sato Y. The history and future of KAATSU Training. Int J Kaatsu Training Res. 2005;1:1-5.
- Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y, Abe T. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. Eur J Appl Physiol. En prensa 2011.
- Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue 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.
- Fujita T, Brechue WF, Kurita K, Sato Y, Abe T. Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. Int J KAATSU Training Res. 2008;4:1-8.
- Loenneke JP, Pujol TJ. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. Strength Cond J. 2009;31:77-84.
- Loenneke JP, Wilson GJ, Wilson JM. A mechanistic approach to blood flow occlusion. Int J Sports Med. 2010;31:1-4.
- Tanimoto M, Madarame H, Ishii N. Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise. Comparison between "Kaatsu" and other types of regimen. Int J Kaatsu Training Res. 2005;1:51-6.
- Sundberg CJ. Exercise and training during graded leg ischaemia in healthy man with special reference to effects on skeletal muscle. Acta Physiol Scand Suppl. 1994;615:1-50.

25. Wernbom M, Augustsson J, Raastad T. Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18:401-6.
26. Carpinelli RN. The size principle and a critical analysis of the unsubstantiated heavier-is-better recommendation for resistance training. *J Exerc Sci Fit*. 2008;6(2):67-86.
27. Tidball JG. Mechanical signal transduction in skeletal muscle growth and adaptation. *J Appl Physiol*. 2005;98:1900-8.
28. Spiering BA, Kraemer WJ, Anderson JM, Armstrong LE, Nindl B, Volek J, et al. Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med*. 2008;38(7):527-40.
29. Boppard MD, Burkein DJ, Kaufman SJ. Alpha7beta1-integrin regulates mechanotransduction and prevents skeletal muscle injury. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2006;290:C1660-5.
30. Drummond MJ, Fujita S, Takashi A, Dreyer HC, Volpi E, Rasmussen BB. Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:691-8.
31. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercises increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol*. 2007;103:903-10.
32. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol*. 2010;108:1199-209.
33. Renzi CP, Tanaka H, Sugawara Y. Effects of leg blood flow restriction during walking on cardiovascular function. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:726-32.
34. Yasuda T, Abe T, Sato Y, Midorikawa T, Kearns CF, Inoue K, et al. Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:65-70.
35. Gualano B, Neves N, Lima FR, Pinto AL, Laurentino G, Borges C, et al. Resistance training with vascular occlusion in inclusion body myositis: a case study. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(2):250-4.
36. Sata S. Kaatsu training for patella tendinitis patient. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:29-32.
37. Ishii N, Madarame H, Odagiri K, Naganuma M, Shinoda K. Circuit training external load induces hypertrophy in lower-limb muscles when combined with moderate venous occlusion. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:24-8.
38. Abe T, Beekley MD, Hinata S, Koizumi K, Sato Y. Day-to-day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days KAATSU resistance training: A case study. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:71-6.
39. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercises combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2002;86:308-14.
40. Madarame H, Kurano M, Takano H, Iida H, Sato Y, Ohshima H, et al. Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010;30(3):210-4.
41. Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010;30:338-3.
42. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscles. *Kaatsu-walk training*. *J Appl Physiol*. 2006;100:1460-6.
43. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y, et al. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *J Geriatr Phys Ther*. 2010;33(1):34-40.
44. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bembem MG. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(1):147-9.
45. Takarada Y, Yutaka N, Seiji A, Tetuya O, Seiji M, Tajarada Y, et al. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol*. 2000;88:61-5.
46. Ozaki H, Sakamaki M, Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sugaya M, et al. Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *J Gerontology: Series A*. 2010;66A(3):257-63.
47. Abe T, Kawamoto K, Yasuda T, Kearns CF, Midorikawa T, Sato Y. Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. *Int J Kaatsu Res*. 2005;1:19-23.
48. Cook SB, Clark BC, Ploutz-Snyder LL. Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal function. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(10):1708-13.
49. Laurentino G, Ugrinowitsch C, Aihara AY, Fernandes AR, Parcell AC, Ricard M, et al. Effects of strength training and vascular occlusion. *Int J Sports Med*. 2008;29:664-7.
50. Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozaki H, Ogasawara R, et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂ max in young men. *J Sports Sci Med*. 2010;9:452-8.
51. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med Sic Sports Exerc*. 2008;40(3):529-34.
52. Loenneke JP, Pujol TJ. KAATSU: rational for application in astronauts. *Hippokratia*. 2010;14(3):224.
53. Kubota N, Takano H, Tsutsumi T, Kurano M, Iida H, Yasuda T, et al. Resistance exercise combined with KAATSU during simulated weightlessness. *Int J Kaatsu Training Res*. 2008;1:9-15.
54. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Sato Y, Abe T. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. *J Sports Science Med*. 2008;7:467-74.
55. Wernbom M, Järrebrink R, Andreasson MA, Augustsson J. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extension at low load. *J Strength Cond Res*. 2009;23(8):2389-95.
56. Yasuda T, Fujita T, Miyagi Y, Kubota Y, Sato Y, Nakajima T, et al. Electromyographic responses of arm and chest muscle during bench press exercise with and without KAATSU. *Int J Kaatsu Training Res*. 2006;2:15-8.
57. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bembem MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scan J Med Sci Sports*. En prensa 2011.
58. Fashs CA, Rossow LM, Seo D, Loenneke JP, Sherck VD, Kim E, et al. Effect of different types of resistance exercise on arterial compliance and calf blood flow. *Eur J Appl Physiol*. En prensa 2011.
59. MacDougall JD, Tuxen D, Sale DG, Moroz JR, Sutton JR. Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol*. 1985;58(3):785-90.
60. Iida H, Takano H, Meguro K, Asada K, Oonuma T, Morita T, et al. Hemodynamic and autonomic nervous responses to the restriction of femoral blood flow by KAATSU. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:57-64.
61. 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.
62. Beekley MD, 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.
63. Bembem DA, Palmer IJ, Abe T, Sato Y, Bembem MG. 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.
64. Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, et al. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech*. 2006;22:112-9.
65. Meyer RA. Does blood flow restriction enhance hypertrophic signaling in skeletal muscle? *J Appl Physiol*. 2006;100:1443-4.
66. Burgomaster KA, Moore DR, Schofield LM, Phillips SM, Sale DG, Gibala MJ. Resistance training with vascular occlusion: Metabolic adaptations in human muscle. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(7):1203-8.
67. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol*. 2009;106(4):1119-24.
68. Sato Y, Yoshitomi A, Abe T. Acute growth hormone response to low-intensity KAATSU resistance exercise: comparison between arm and leg. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005;1:45-50.
69. Madarame H, Sasaki K, Ishii N. Endocrine responses to upper-and lower-limb resistance exercises with blood flow restriction. *Acta Physiol Hung*. 2010;97(2):192-200.
70. Madarame H, Neya M, Ochi E, Nakazato K, Sato Y, Ishii N. Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(2):258-63.
71. Reeves GV, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, Francois M, et al. Comparison of hormones responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol*. 2006;101:1616-22.
72. Kon M, Ikeda T, Homma T, Akimoto T, Suzuki Y, Kawahara T. Effect of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(7):1279-85.
73. Kraemer WJ, Rogol AD, editores. *The endocrine system in sports and exercises*. Oxford: Blackwell Publishing; 2006.
74. Loepky JA, Gurney B, Icenogle MV. Effects of acute leg ischemia during cycling on oxygen and carbon dioxide stores. *J Rehabilitation Research Develop*. 2008;45(7):1091-102.
75. Park S, Kim JK, Choi HM, Kim HG, Beekley MD, Nho H. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur J Appl Physiol*. En prensa 2010.
76. Evans C, Vance S, Brown M. Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. *J Sports Sci*. 2010;28(9):999-1007.
77. Hollander DB, Reeves GV, Clavier JD, Francois MR, Thomas C, Kraemer RR. Partial occlusion during resistance exercise alter effort sense and pain. *J Strength Cond Res*. 2010;24(1):235-43.
78. Wernbom M, Augustsson J, Thomeé R. Effects of vascular occlusion on muscular endurance in dynamic knee extension exercise at different submaximal loads. *J Strength Cond Res*. 2006;20(2):372-7.
79. Umbel J, Hoffman RL, Dearth DJ, Chleboun GS, Manini TM, Clark BC. Delayed-onset muscle soreness induced by low-load blood flow-restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2009;107(6):687-9.
80. Loenneke JP, Balapur A, Thrower AD, Barnes JT, Pujol TJ. The perceptual responses to occluded exercise. *Int J Sports Med*. 2011;32:181-4.
81. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sports Sci Rev*. 2009;37:78-85.