



Universidad Abierta Interamericana
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría.

Entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.

Autor: Morales, Juan Pablo.

Tutor: Rubinich, Nicolás.

Año: 2022

Resumen

El entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo es un método de baja intensidad que consiste en la restricción vascular parcial arterial y una oclusión total venosa mediante un torniquete externo ubicado en la parte más proximal del miembro a trabajar. La atrofia, la debilidad y la inhibición muscular son entidades que forman parte del cuadro de muchos de los pacientes o deportistas cuando vuelven de una lesión. Este es uno de los principales motivos por los cuales el fortalecimiento es uno de los principales objetivos de la rehabilitación musculoesquelética en el ámbito kinésico, debido a que la restauración del área de sección transversal (AST) y la activación voluntaria máxima temprana, parecen ser necesarios para lograr ganancia de fuerza muscular. Para alcanzar este objetivo, se suelen utilizar cargas que produzcan un cambio estructural dentro de la célula muscular, es decir, generar hipertrofia. Es un método novedoso que en los últimos años ha tomado un rol importante en cuanto a la utilización en lesiones que requieran de un periodo de inmovilización. La pregunta de esta investigación es la siguiente ¿cuáles son los efectos del entrenamiento de baja intensidad con restricción de flujo sanguíneo en lesiones que requieran un período de inmovilización? El objetivo de este trabajo es describir los efectos del método de entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo, en lesiones que requieren un período de inmovilización.

Métodos: Se llevó a cabo una revisión bibliográfica en la base de datos de Google Académico, PubMed, Redalyc, Scielo, Dialnet.

Resultados: Este estudio pone en manifiesto que la práctica del entrenamiento de baja intensidad con restricción de flujo sanguíneo genera un proceso fisiológico de fuerza e hipertrofia muscular en periodos de inmovilización y se podría utilizar como método coadyuvante en lesiones musculares. Los autores demuestran que produce similares adaptaciones que un entrenamiento de alta intensidad.

Palabras clave: Kaatsu, flujo sanguíneo, entrenamiento oclusivo.

Índice	
Resumen	1
Introducción.....	4
Justificación.....	5
Problema.....	7
Objetivos	9
Objetivo general:	9
Objetivos específicos:.....	9
Marco Teórico	10
Hipertrofia muscular.....	10
Factores de la Respuesta Hipertrófica	11
Tensión Mecánica	11
El Daño Muscular.....	11
Estrés metabólico	12
Hormonas relacionadas con la hipertrofia	12
Testosterona.....	12
Hormona de Crecimiento (GH).....	13
Variables que influyen en la hipertrofia muscular	14
Intensidad (carga)	14
Volumen.....	14
Intervalos de descanso para sesiones de hipertrofia	15
El fallo muscular.....	16
Entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.....	16
Orígenes del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo	16
Protocolo de oclusión vascular	18
Fundamentos Fisiológicos del Entrenamiento bajo oclusión vascular.....	20
Hipertrofia muscular	20
Indicadores cardiovasculares.....	20
Respuestas Metabólicas	21
Estado de hipoxia.....	21
Hormona del crecimiento (GH)	22
Síntesis proteica	23
Ventajas y desventajas del método de restricción de flujo sanguíneo	24

Riesgos propios del entrenamiento	24
Ventajas del entrenamiento.....	26
Utilidades del entrenamiento bajo oclusión vascular	27
Entrenamiento oclusivo como tratamiento.....	28
Abordaje metodológico	30
Recolección de datos.....	30
Criterios de inclusión	30
Criterios de exclusión.....	31
Análisis e interpretación del material relevado	31
Categorías de análisis	31
Conclusión.....	36
Bibliografía.....	38

Introducción

La debilidad y atrofia muscular forman parte del cuadro de muchos de nuestros pacientes. Este es uno de los principales motivos por los cuales el fortalecimiento es uno de los objetivos de la rehabilitación musculo esquelética en el ámbito kinésico, debido a que la restauración del área de sección transversal y la activación voluntaria máxima temprana, son necesarios para lograr un aumento de fuerza muscular. Para alcanzar este objetivo, se utilizan cargas que produzcan un cambio estructural dentro de la célula muscular, es decir, generar hipertrofia. Para ello, el Colegio Americano de Medicina del deporte (American College of Sports Medicine 2009) sugiere pesos de 60-80% de una repetición máxima (RM). Sin embargo, no siempre es posible valorar 1RM en los pacientes, incluso muchas veces no podemos cargar la estructura con tal intensidad, debido a que la percepción dolorosa del paciente no lo permita, o a causa de la limitación postquirúrgica. Este entrenamiento implica la aplicación de un manguito neumático de restricción próxima al músculo a entrenar y realizar repeticiones con cargas inferiores a las recomendadas tradicionalmente para lograr hipertrofia y el aumento de fuerza muscular. Esta técnica, fue un método popularizado en Japón, en la década de 1980 (American College of Sports Medicine 2009). Sin embargo, poco sabemos sobre sus efectos a nivel muscular y sobre su efectividad. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión literaria para describir la utilidad del entrenamiento con entrenamiento oclusivo como método coadyuvante en las lesiones musculares, y las posibles complicaciones o efectos adversos que posee esta técnica.

Justificación

Aunque los beneficios del entrenamiento físico con resistencia se han reconocido desde hace muchos años, el conocimiento de su valor para la salud, forma física, prevención de enfermedades y la rehabilitación es relativamente nuevo. Adaptaciones reconocidas para la salud del entrenamiento de resistencia promueven el desarrollo y mantención de la masa muscular, aumento de la densidad ósea, reducción de grasa corporal, entre otras. (Graves & Barry, 2001)

Actualmente es recomendado por el American College of Sports Medicine (ACSM), trabajar al menos a un 65% de 1RM en series de entre 10 a 12 repeticiones para incrementar la hipertrofia muscular, a lo cual en gente que no está bien adaptada a trabajos con resistencia, o bien jamás ha realizado alguno, podría serle invasivo en un comienzo. Con el entrenamiento con resistencias de alta intensidad se quiere conseguir un gran reclutamiento neurológico y mecánico de la musculatura, que estimule los procesos de activación y coordinación muscular, y posteriormente de síntesis proteica y anabolismo, que tendrán como consecuencia el incremento de la fuerza y la hipertrofia muscular. (Campos, y otros, 2002)

El entrenamiento oclusivo vascular combina el entrenamiento con resistencias bajas más oclusión del flujo sanguíneo, planteando que esta modalidad 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), bajo condiciones de restricción del flujo sanguíneo muscular, con baja intensidad e incluso a corto plazo induciendo la fuerza muscular y la hipertrofia (Takarada, y otros, 2000)

Este tipo de entrenamiento en donde se obtiene hipertrofia muscular con ejercicios de cargas bajas se haría bastante útil en variados ámbitos dentro de lo que conlleva la kinesiología, educación física y la salud, debido a la existencia de enfermedades o problemáticas relacionadas con el desarrollo o problemas musculares tales como lesiones o exceso de uso, como en torceduras y distensiones, calambres o tendinitis; en aspectos genéticos, como la distrofia muscular; el cáncer; diversas inflamaciones, como la miositis; enfermedades neuromusculares; entre otras, las cuales se pueden pronunciar tanto en la vejes como a temprana edad. A esto se le añade el corto plazo en generar resultados en los

sujetos que emplean trabajos de oclusión vascular, dado que se ha demostrado que, a partir de 2 semanas de ejercicios de baja intensidad bajo oclusión vascular, se lograron aumentos transversales sobre la sección media del muslo. (Abe, y otros, 2005)

En síntesis, en entrenamiento de resistencia bajo oclusión vascular es una forma poco invasiva por la carga que se utiliza, rápida debido a sus resultados en corto plazo de tiempo lo que lo hace interesante para analizar.

Problema

El entrenamiento oclusivo vascular se origina en Japón. En 1966, Yoshiaki Sato creó el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo mientras asistía a una misa en un monumento budista cuando se le adormecieron las piernas como consecuencia de la posición en la que estaba sentado. La cual era sobre sus talones, con las rodillas flexionadas y la espalda erguida, produciéndole así, una flexión profunda de rodilla y una oclusión en el retorno venoso dificultando la circulación hacia el sector de los gastrocnemios. La sensación que le ocasionó, la relacionó con la que se produce al realizar extenuantes ejercicios como es el caso de elevación de talones hasta el fallo. Este suceso, fue el inicio de lo que hoy conocemos como entrenamiento Kaatsu, pasando por algunos acontecimientos para tener el protocolo actual, en donde, en primera instancia fue pasar por alto el entumecimiento de la extremidad al realizar ejercicios con oclusión vascular a tanto de producirle una embolia pulmonar, esto provocó dejar el entrenamiento momentáneamente y seguir trabajando para encontrar la presión adecuada para realizar el trabajo, pasando numerosas modificaciones y acumular conocimiento con respecto a la presión adecuada. (Sato, 2005)

En 1983, luego de instruirse y probar el método en diferentes personas considerando la edad, las variaciones en el tamaño de extremidades y los vasos sanguíneos, la cantidad de tejido adiposo, su tejido muscular y la fuerza física; se empezó a implementar el instrumento que generara la oclusión en la extremidad correspondiente, dejando de lado el tubo de bicicleta. En la actualidad hay evidencias de los resultados del entrenamiento Kaatsu en una amplia generación de personas incluyendo a jóvenes (menores de 20 años) y ancianos (mayores de 80), es decir, individuos de diversas condiciones como enfermedades cerebro vascular, enfermedades ortopédicas, obesidad, enfermedades cardíacas, enfermedades neuromusculares, diabetes, hipertensión, y enfermedades respiratorias (Sato, 2005).

En el ámbito del deporte, han introducido en entrenamiento Kaatsu para desarrollar un fortalecimiento muscular como el hockey, kendo, practicar escalada de montaña, esquí acuático, triatlón, rugby, gimnasia, softbol, balonmano, escalada en roca, mesa tenis, bádminton, maratón, patinaje, bicicleta, el esquí, el snowboard, el culturismo, judo,

natación, danza, baloncesto, tenis, voleibol, boxeo, fútbol, karate, golf, béisbol y deportes de combate. En ámbitos de la salud se ha aplicado tanto en sujetos sanos como en ancianos (T.Nakijama, 2006)

Por otro lado, los trabajos de experimentación e investigación en occidente han llevado a cabo trabajos con metodologías variadas en cada uno de ellos. Sin embargo, en cada uno de estos trabajos, las metodologías siguen ciertos patrones los cuales contemplan entrenamientos con un torniquete aplicado desde bandas elásticas, cámaras de 25 neumáticos, hasta elementos más técnicos como esfingomanómetro y compresímetro, cuya presión es calculada en base a los sujetos, aplicando una presión del 130% de la tensión arterial sistólica o bien rangos de presión que oscilan entre los 100-200 mmHg, del mismo modo, las investigaciones realizadas en occidente contemplan trabajos desde 3 semanas con cargas entre 20-50% de 1RM con series entre 2-5 por sesión, contemplando entre 2-3 sesiones por semana para lograr producir efectos de aumento de la hipertrofia muscular. Al mismo tiempo se describen entre 30-50 repeticiones por serie, o en su defecto alcanzar el fallo muscular, dejando entre serie un tiempo de descanso de entre 30 a 60 segundos (Hernandez & Medrano, 2013). Dicho esto, y haciendo énfasis en las modalidades de uso, nos deberíamos plantear si el entrenamiento oclusivo es seguro o nos puede generar efectos adversos. Ya que si se utiliza una banda elástica no sabremos exactamente la presión que ejercemos, por ende, los cambios fisiológicos no serían los deseados, ¿se consiguen los mismos cambios estructurales si usamos elementos alternativos? ¿Cómo se utilizaría de manera correcta?

A partir de los diferentes tipos de uso que pueden encontrarse actualmente, surge la siguiente interrogante: ¿cuáles son los efectos de un entrenamiento de baja intensidad con restricción de flujo sanguíneo en lesiones que requieran un período de inmovilización?

Objetivos

Objetivo general:

- Describir los efectos del método de entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo, en lesiones que requieren un período de inmovilización.

Objetivos específicos:

- Analizar las respuestas morfológicas que se obtienen en un entrenamiento de baja intensidad con restricción de flujo sanguíneo.
- Analizar el desarrollo muscular antes y después de la oclusión
- Determinar el volumen total de una sesión de entrenamiento de baja intensidad para producir cambios morfológicos.
- Determinar la frecuencia, intensidad y tiempo de oclusión para la producción de hipertrofia mediante el entrenamiento de baja intensidad.

Marco Teórico

Hipertrofia muscular

Se define hipertrofia muscular como un aumento o crecimiento del volumen del músculo producido por un ensanchamiento de la sección transversal de las fibras musculares. Se logra gracias a la síntesis de proteínas contráctiles (Mirella, 2006) a los numerosos procesos catabólicos y la recuperación de la actividad realizada en unas condiciones elevadas de estrés muscular. El trabajo de fuerza va a propiciar un incremento de la masa muscular, se requiere un estímulo adecuado para que haya una síntesis proteica y una disminución del catabolismo proteico. Durante la ejecución de los ejercicios, los procesos catabólicos predominan frente los de síntesis, será en los tiempos de recuperación cuando se produzca una regeneración proteica (Cuadrado Zaenz, Pablos Abella, & Garcia Manso, 2006). Un agrandamiento en el tamaño muscular puede ocurrir como resultado de (Badillo & Ayestaran, 2002) incremento en el número y la talla de las miofibrillas, incremento de tamaño del tejido conectivo y otros tejidos no contráctiles del músculo, aumento vascular y del tamaño fibrilar.

American College of Sports Medicine, establece un criterio para alcanzar una hipertrofia muscular y aumentar la fuerza máxima, se tiene que sobrepasar el 70% de una repetición máxima (1RM) (Ratamess, y otros, 2009) Al realizar un entrenamiento con altas cargas se diferencian dos fases, modelo adaptativo tradicional, (Campos, y otros, 2002) una primera fase (adaptación neurológica), activación de la musculatura implicada e integración de las informaciones sensitivas y motoras por el control del sistema nervioso central, y una segunda fase (adaptación estructural) que dará lugar a la hipertrofia muscular en sí y a un aumento de la fuerza.

El entrenamiento oclusivo o entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo se origina en Japón, estandarizado en 1983, donde se conoce como entrenamiento KAATSU. Consiste en comprimir la extremidad superior o inferior en su zona proximal para restringir el flujo sanguíneo (tanto aferente como eferente) con una carga de entrenamiento entre el 20-50% de 1RM, cuyo efecto principal es la hipoxia localizada (Manini & Clark, 2009)

En el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo se propone un modelo de adaptación inverso al tradicional. Se producen cambios estructurales significativos en el músculo tras

solo cinco días de ejercicio de baja intensidad en oclusión. Mientras que las adaptaciones estructurales son constantes a lo largo del período de entrenamiento con oclusión, las adaptaciones en la fuerza muscular no alcanzan valores significativos hasta pasadas diez semanas (Loenneke J. P., Wilson, Marin, Zourdos, & Bemben, 2012).

Factores de la Respuesta Hipertrófica

En la actualidad se conocen 3 factores que inciden en la respuesta hipertrófica ante el ejercicio con resistencias, las cuales son la tensión mecánica, el daño muscular y el estrés metabólico (Schoenfeld, 2010).

A continuación, se explicará en qué consisten los factores, y como estos estimulan la generación de hipertrofia.

Tensión Mecánica

Se cree que la tensión mecánica juega un papel fundamental en la hipertrofia muscular, dado que genera una alteración a nivel del musculo esquelético, lo que desencadenaría una respuesta molecular que provoca una mayor capacidad de sintetizar proteínas (Fernandez Izquierdo, 2014) .

Se propuesto que la tensión mecánica es generada por la fuerza realizada y los ciclos de estiramiento del músculo, esto a su vez da como resultado el aumento de ARN ribosomal (ARNr) en las células musculares, así se propone que una mayor cantidad de ARNr supondría una mayor capacidad de la célula para traducir el ARNm, desencadenando un aumento en la síntesis de proteínas, y esto está ligado estrechamente con la ganancia de masa muscular (Hill & Goldspink, 2003).

El Daño Muscular

A través de los ejercicios tanto excéntricos como concéntricos se puede generar un daño muscular, el que se cree está muy asociado a la ganancia de masa muscular (Farthing & Chilibeck, 2003).

Sin embargo se ha descrito que el daño muscular en si no es el causante de la hipertrofia muscular, sin embargo es la causante de una respuesta inflamatoria la que lleva a estimular IGF-1, y a su vez esta desencadena una respuesta en las isoformas de este mismo factor de crecimiento (Hill & Goldspink, 2003), las cuales tienen una conexión con la estimulación y

proliferación de las células satélite, las que, como mencionamos anteriormente, tienen una estrecha relación en la generación de hipertrofia muscular (Fu, Wang, & Hu, 2015).

Estrés metabólico

Una molécula que tiene algún electrón no apareado se denomina como radical libre. Existen dos grupos de estas moléculas que están relacionados con el estrés oxidativo, el grupo de las especies reactivas del oxígeno (ROS) y óxido nítrico (NO), las cuales interaccionan con moléculas como lípidos, proteínas y ADN, degradando dichas moléculas (Kerksick&Zuhl, 2015).

El estrés oxidativo está asociado a la hipertrofia en el sentido que las especies reactivas de oxígeno participan en la estimulación de las vías de señalización que están implicadas en la biogénesis mitocondrial y la regulación de los procesos inflamatorios, que llevan a un aumento en la síntesis de proteínas (Garten, 2011)

Por otro lado, las ROS están relacionadas con la hipertrofia dado que este grupo de radicales libres estimula el HGF, el cual está asociada a la activación de las células satélite, y al mismo tiempo la liberación de macrófagos para proteger las células musculares de las especies reactivas del oxígeno, evitando de esta manera la destrucción de las células (Fu, Wang, & Hu, 2015).

Hormonas relacionadas con la hipertrofia

En el proceso de generación de hipertrofia muscular participan un sin número de moléculas y hormonas, sin embargo, existen dos hormonas a las cuales les prestaremos especial atención, la testosterona y la hormona de crecimiento.

Testosterona

Una de las hormonas que tiene un rol anabólico dentro de la respuesta hipertrófica al ejercicio es la testosterona (Kraemer & Ratamess, 2012), esta es una hormona esteroidea derivada del ciclo ciclopentanoperhidrofenantreno, es mayoritariamente sintetizada y secretada por las células de Leydig, a través del eje gonadal hipotalámico-pituitario y pequeñas cantidades derivadas de los ovarios y las glándulas suprarrenales (Ahtianen, Pakarinen, Alen, Kraemer, & Hakkinen, 2003),

El mecanismo por el cual actúa es estimulando la transcripción de ADN en la célula, la testosterona al ser derivada del colesterol, la membrana plasmática se permeabiliza, ya que está compuesta por una bicapa fosfolipídica (Deschenes, Kraemer, Maresh, & Crivello, 2012), una vez dentro de la célula esta se acopla a receptores que se encuentran en el citosol, estos complejos hormona-receptor aumentan la transcripción de genes localizados en el ADN que codifican para la síntesis de proteínas contráctiles (Schreibman, 2012), Aunque los efectos de la testosterona se ven en la ausencia del ejercicio, su impacto se magnifica con la carga mecánica, promoviendo tanto la síntesis proteica, como la inhibición de la proteólisis, también actúa indirectamente en la respuesta hipertrófica al estimular la secreción de otras hormonas anabólicas tal como la hormona del crecimiento (Crewther, Keogh, Cronin, & Cook, 2006).

El entrenamiento con resistencias se ha demostrado que también regula los receptores androgénicos en humanos (Bamman, y otros, 2001), este tipo de entrenamiento tiene un efecto agudo en la secreción de testosterona, en un estudio se demuestra la correlación entre la elevación de testosterona inducida por ejercicio y el área de sección transversal del musculo, concluyendo que la elevación en los niveles de testosterona juega un rol importante en los procesos hipertróficos (Ahtianen, Pakarinen, Alen, Kraemer, & Hakkinen, 2003).

Hormona de Crecimiento (GH)

La hormona de crecimiento es un polipéptido secretado en la parte anterior de la glándula hipófisis, y está involucrado en el catabolismo de las grasas en triglicéridos y en el anabolismo de las células musculares, induciendo la incorporación de aminoácidos de las proteínas musculares (Schoenfeld, 2010).

Así mismo la hormona de crecimiento no es un generador de la hipertrofia en sí mismo, sin embargo, se ha descrito como un factor principal en la activación del factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1), el cual se ha descrito como uno de los principales estimulantes de la hipertrofia muscular (Rennie, 2003).

En este sentido el IGF-1 juega como principal factor de aumento muscular al estimular la vía de señalización Akt/mTOR, la cual está estrictamente relacionada con la síntesis proteica y posterior generación de hipertrofia (Fu, Wang, & Hu, 2015). Por otro lado, el

IGF-1 puede resultar en la activación del factor mecánico de crecimiento (MGF) el cual tiene importante relevancia en la activación de células satélites, las cuales, como hemos descrito anteriormente, tienen una íntima relación con la ganancia de masa muscular (Hammed, y otros, 2004).

Variables que influyen en la hipertrofia muscular

Intensidad (carga)

Este factor ha sido demostrado como significativo debido al impacto que genera en el trabajo de hipertrofia, es decir, que se ha demostrado que la carga de trabajo es un aspecto determinante al momento de hacer ejercicios para estimular el crecimiento muscular (Fry A. C., 2004), y se expresa generalmente como un porcentaje con respecto a 1 RM. Dentro de los trabajos con carga, las repeticiones se pueden clasificar en 3 rangos básicos: bajo (1-5 repeticiones), moderada (6-12 repeticiones), y altas (15+ repeticiones) (Schoenfeld, 2010) las cuales implican el uso de diferentes fuentes energéticas según la cantidad de repeticiones, específicamente para el trabajo de hipertrofia se ha investigado con respecto a cuál sería la cantidad de repeticiones más apropiadas para el crecimiento muscular ya que repeticiones tanto bajas como moderadas han obtenido resultados al respecto (Campos, y otros, 2002)

Volumen

Es la cantidad total de la actividad realizada por el sujeto durante un ejercicio, sesión o ciclo de trabajo. Representa el aspecto cuantitativo de la carga, la cantidad de trabajo. Produce reacciones de adaptación a largo plazo (transformaciones morfológicas y funcionales estables) y adaptaciones utilizables de forma inmediata (Wolfe, LeMue, & Cole, 2004)

“Para maximizar la hipertrofia, existe evidencia que el volumen debe aumentarse progresivamente durante un determinado periodización ciclo, que culminó en un breve período de extralimitación. Extralimitación se puede definir como un aumento a corto plazo previsto en volumen y / o intensidad destinados a mejorar el rendimiento.” (Schoenfeld, 2010)

Se cree que la mejora se obtiene tras un efecto rebote, en donde un bajo consumo de energía en un comienzo produce una supercompensación aumentando la acumulación de

proteínas en el cuerpo de manera significativa (Fry, 2004). Para asegurar la óptima supercompensación, el período de extralimitación debe ser seguido de una breve cónica o cese del entrenamiento. Al momento de calendarizar los ciclos de entrenamiento hay que tener enorme cuidado con los volúmenes de entrenamiento ya que los prolongados periodos de fatiga pueden conducir a un sobre entrenamiento, teniendo efectos catabólicos sobre el tejido muscular, disminución de las concentraciones de testosterona y hormona luteinizante, y el aumento de los niveles de cortisol (Halsen & Jeukendrup, 2004)

Teniendo en cuenta que la capacidad de recuperación es altamente variable entre los individuos, es esencial estar conscientes del estado de entrenamiento de un atleta y ajustar el volumen en consecuencia para evitar un efecto negativo sobre la acumulación de proteínas.

Intervalos de descanso para sesiones de hipertrofia

Los intervalos, son conocidos como los tiempos de descansos entre series, el tiempo del intervalo de descanso se prescribe basándose en el objetivo del entrenamiento, pero puede variar en función de varios factores, siendo el principal el fin del entrenamiento (fuerza, hipertrofia, etc.). Teniendo esto en cuenta, dividiremos los intervalos de descanso en 3 amplias categorías: corto (30 segundos o menos), incompleto (60 a 90 segundos) y completo (3 minutos o más), cada una de estas categorías tiene distintos efectos sobre las capacidades y la acumulación de metabolitos, impactando así la respuesta hipertrófica (Willardson, 2006)

Los intervalos de descanso cortos tienden a generar estrés metabólico significativo, aumentando así los procesos anabólicos asociados con la acumulación de metabolito (Goto, y otros, 2004).

Intervalos completos de descanso permiten la recuperación total, facilitando la posibilidad de entrenar con la capacidad máxima (Miranda, y otros, 2007).

Los intervalos de descanso de 3 a 5 minutos permiten la ejecución de mayor cantidad de repeticiones en el entrenamiento con cargas entre 50 y 90% de 1RM (De Salles, y otros, 2009).

El entrenamiento con descansos incompletos hace referencia a la mejora del trabajo anabólico en mayor medida que los otros dos intervalos de descanso, induciendo la hipoxia y favoreciendo un potencial crecimiento muscular (Toigo & Boutellier, 2006).

El fallo muscular

Se puede definir como el punto cuando en un ejercicio los músculos ya no pueden producir la fuerza necesaria para concéntricamente levantar una carga dada. Aunque las ventajas de la formación al fallo siguen siendo un tema de debate, se cree comúnmente que entrenar al fallo muscular es necesario para maximizar la respuesta hipertrófica (Willardson, 2007).

La ejercitación al fallo también puede mejorar el estrés metabólico inducido por el ejercicio, potenciando de este modo como ya es sabido, una respuesta hipertrófica. Hay evidencias que revelan que el entrenamiento al fallo con reducción de los descansos causa concentraciones de IGF-1 y quitando la sensación de descanso en los niveles de testosterona en un protocolo de 16 semanas, lo que sugiere que el sujeto haya sido sobreentrenado. Entonces, si bien es prudente añadir ejercicios realizados al fallo en un entrenamiento orientado a la hipertrofia, su uso debe ser bien calendarizado y/o limitado para evitar el sobre entrenamiento (Izquierdo, y otros, 2006).

Entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo

Orígenes del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo

Los orígenes del entrenamiento oclusivo vascular nacen en Japón en el año 1966 en manos de un joven japonés llamado Yoshiaki Sato el cual tenía un gran interés por el entrenamiento con resistencia orientado al culturismo evidenciado desde sus primeros años en la escuela secundaria, donde empezó con su propio método de entrenamiento. En otoño 1966, el cual era su último de la escuela secundaria recibió la inspiración para crear este entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo mientras asistía a una misa en un monumento budista se le adormecieron las piernas como consecuencia de la posición en que estaba sentado (Sato, 2005). La cual era sobre sus talones, con las rodillas flexionadas y la espalda erguida, produciéndole una flexión profunda de rodilla y una oclusión en el retorno venoso dificultando la circulación hacia el sector de los gastrocnemios, la sensación que le produjo posteriormente de estar un tiempo prolongando la relación con la sensación que se produce al realizar extenuantes ejercicios como es el caso de elevación de talones

hasta el fallo. Este suceso fue el inicio de lo que hoy conocemos como entrenamiento Kaatsu, pasando por un par de acontecimientos para tener el protocolo actual, en primera instancia fue pasar por alto el entumecimiento de la extremidad al realizar ejercicios con oclusión vascular a tanto de producirle una embolia pulmonar, esto provoco el dejar el entrenamiento momentáneamente y seguir trabajando para encontrar la presión adecuada para realizar el trabajo, pasando numerosas modificaciones y acumular conocimiento con respecto a la presión adecuada.

Dentro de un año había establecido un método seguro y eficaz de la aplicación de presión adecuado para KAATSU, además de esto tuvo la progresión de poder aplicarlo a miembros superiores. El segundo punto de inflexión llegó después de 23 un accidente en un viaje de esquí, teniendo graves lesiones ligamentosas en la rodilla derecha y fractura en ambos tobillos, esta lesión debía ser intervenida con una operación de inmediata, sin embargo Yoshiaki se negó, suplicando sólo inmovilizar los miembros inferiores, ante una inminente atrofia por la decisión tomada, arriesgo su salud y comenzó a implementarse el método Kaatsu de entrenamiento, al poco tiempo después se evidenciaron resultados satisfactorios, luego de dos semanas de mantener el método, sus extremidades se encontraban anormalmente hinchadas, lo que lo llevo a visitar nuevamente al médico.

Al visitarlo, el médico se llevó una enorme sorpresa, no solo se había evitado la atrofia muscular normal, sino que además de eso su musculatura estaba hipertrofiada. Después de dos meses, se eliminó el yeso y Yoshiaki pretendía asistir a una ceremonia sosteniendo un santuario portátil, esto lo llevo a ir nuevamente donde un médico y cerciorarse de la buena condición de su extremidad, puesto que a simple vista exteriormente se veía en buenas condiciones, al asistir al médico el diagnóstico fue satisfactorio, teniendo fusionados los huesos comprometidos y una evolución optima del sanado del ligamento, por lo tanto un exitoso resultado del entrenamiento Kaatsu.

En 1983, luego de mucho instruirse y probar el método en diferentes personas considerando atención única a las diferentes personas, no sólo por la edad de los individuo, sino también en variaciones en el tamaño de extremidades y los vasos sanguíneos, la cantidad de tejido adiposo en sus extremidades, y su musculoso actual y fuerza física (Sato, 2005) y ya manejando estos factores empieza a implementar el instrumento que generara la oclusión en

la extremidad correspondiente, dejando de lado el tubo de bicicleta. En la actualidad hay evidencias de los resultados del entrenamiento Kaatsu en una amplia generación de personas incluyendo a jóvenes (menores de 20 años) y ancianos (mayores de 80), personas de diversas condiciones como enfermedades cerebro vascular, enfermedades ortopédicas, obesidad, enfermedades cardíacas, enfermedades neuromusculares, diabetes, hipertensión, y enfermedades respiratorias. En el ámbito del deporte muchas instalaciones han introducido en entrenamiento Kaatsu para desarrollar un fortalecimiento muscular como el hockey, kendo, practicar escalada de montaña, esquí acuático, triatlón, rugby, gimnasia, softbol, balonmano, escalada en roca, mesa tenis, bádminton, maratón, patinaje, bicicleta, el esquí, el snowboard, el culturismo, 24 judo, natación, danza, baloncesto, tenis, voleibol, boxeo, fútbol, karate, golf, béisbol y deportes de combate. En ámbitos de la salud se ha aplicado tanto en sujetos sanos como en ancianos (T.Nakijama, 2006).

Protocolo de oclusión vascular

Como sabemos, la metodología del entrenamiento bajo oclusión vascular tuvo lugar en Japón, a través de las experimentaciones realizadas por Y. Sato en los años 1960, a la cual la denomino como KAATSU (Sato, 2005). Dicha metodología fue adoptada por el mundo de occidente y actualmente se conoce como entrenamiento oclusivo o entrenamiento bajo restricción del flujo sanguíneo (Martin-Hernandez, Marin, & Herrero, 2011).

En cuanto al entrenamiento propiamente tal, podemos indicar que el método Kaatsu, es una metodología ya patentada y se ha vuelto una marca comercial, ya que posee implementos propios de la metodología y posee una estructura de trabajo la cual consiste en trabajar con un torniquete a una presión de 100-160 mmHg, el cual está elaborado por la propia compañía, en la zona proximal del músculo que se desea trabajar, generando así un estado de hipoxia local, trabajando con resistencias entre el 20-50% de una repetición máxima (RM) (Martin-Hernandez & others, 2013), realizando de 5 a 30 minutos diarios, entre 1 a 3 veces por semana, teniendo una duración en el tiempo acorde a la decisión del individuo, siendo las principales propósitos de deserción el logro de las metas alcanzadas, recuperación de las enfermedades o cambio de la formación al trabajo en el hogar (Nakajima, y otros, 2006).

Por otro lado, los trabajos de experimentación e investigación en occidente han llevado a cabo trabajos con metodologías variadas en cada uno de ellos. Sin embargo en cada uno de estos trabajos, las metodologías siguen ciertos patrones los cuales contemplan entrenamientos con un torniquete aplicado desde bandas elásticas, cámaras de neumáticos, hasta elementos más técnicos como esfingomanómetro y compresímetro, cuya presión es calculada en base a los sujetos, aplicando una presión del 130% de la tensión arterial sistólica o bien rangos de presión que oscilan entre los 100-200 mmHg, del mismo modo, las investigaciones realizadas en occidente contemplan trabajos desde 3 semanas con cargas entre 20-50% de 1RM con series entre 2-5 por sesión, contemplando entre 2-3 sesiones por semana para lograr producir efectos de aumento de la hipertrofia muscular. Al mismo tiempo se describen entre 30-50 repeticiones por serie, o en su defecto alcanzar el fallo muscular, dejando entre serie un tiempo de descanso de entre 30 a 60 segundos (Hernandez & Medrano, 2013).

PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO CON RESTRICCION DE FLUJO SANGUINEO	
Frecuencia	2-3 veces a la semana (>3 semanas) o 1–2 veces por día.(1–3 semanas)
Carga	20/40% 1RM
Tiempo de restricción	5–10 min por ejercicio (reperusión entre ejercicios)
Tipo	Grupos musculares pequeños y grandes (brazos y piernas/uni o bilateral)
Series	2-4
Brazalete	5 (pequeño), 10 o 12 (mediano), 17 o 18 cm (grande)
Presión en la repetición	(75 repeticiones): 30 × 15 × 15 × 15, o serie al fallo muscular. 40–80% AOP
Descanso entre series	30-60 segundos.

Formas de restricción	Continuo o intermitente
Velocidad de ejecución	1-2segundos (concéntrico y excéntrico)
Ejecución	Hasta el fallo muscular o completar el protocolo.

Fundamentos Fisiológicos del Entrenamiento bajo oclusión vascular

A continuación, expondremos los principales fundamentos fisiológicos que sustentan el protocolo de entrenamiento bajo oclusión vascular, tratando de describir, a grandes rasgos, las consecuencias tanto metabólicas como estructurales ocurridas a raíz de este protocolo.

Hipertrofia muscular

El entrenamiento bajo oclusión vascular ha demostrado tener directa relación en la generación de hipertrofia muscular. En este sentido han sido variados los protocolos que han demostrado incrementar la sección transversal del musculo (Martín Hernández & others, 2013). Así mismo podemos observar respuestas positivas ante la generación de hipertrofia muscular, a partir de dos semanas de trabajos, como lo indica la investigación realizada por (Abe, y otros, 2005), en la que se realizó una intervención con 16 sujetos jóvenes sanos, en la cual se realizaban entrenamientos bajo oclusión vascular durante dos semanas consecutivas, en donde solamente se descansó el domingo. En dichos estudios se encontraron resultados positivos sobre la generación de hipertrofia en la sección transversal del muslo, específicamente un aumento de los cuádriceps, bíceps femoral y glúteo mayor.

Independientemente de los resultados positivos que muestran los estudios sobre la hipertrofia muscular, los mecanismos por los cuales el cuerpo logra tener esta respuesta hipertrófica, no son claros, por lo que más adelante intentaremos explicar las grandes rutas metabólicas por las cuales el cuerpo podría generar este tipo de respuesta.

Indicadores cardiovasculares

Además de las respuestas musculares que presenta el entrenamiento bajo oclusión vascular, se ha encontrado en estudios que estimula mejoras a nivel de presión arterial sistólica y diastólica, en cuanto estas presentan disminución luego de realizado el entrenamiento oclusivo, los estudios no son concluyentes sobre los reales beneficios que puede llegar a presentar individuo luego de vivenciado el protocolo (Hernandez & Medrano, 2013).

Sumado a esto (Loeppky, Burke, Yoshio, & Milton, 2005) encontraron en su estudio que el entrenamiento bajo oclusión vascular aumentaba la cantidad de fibras tipo I y disminuía las fibras tipo II, por otro lado, aumenta la capilarización por fibra, lo que es un claro beneficio para el desarrollo cardiovascular de los sujetos (Loeppky, Burke, Yoshio, & Milton, 2005).

Respuestas Metabólicas

Estado de hipoxia

El estado de hipoxia es generado en el protocolo de entrenamiento a raíz de la presión externa que se agrega a la zona a trabajar. Esto conlleva una serie de reacciones al interior del musculo trabajado. En primer lugar, la activación de las fibras musculares de contracción más rápidas, por sobre las fibras musculares de contracción más lenta, las cuales a su vez tienen menos potencial hipertrófico.

De este modo el estado de hipoxia generaría una estimulación de las fibras más glucolíticas, o de contracción rápida, dado que la limitación de oxígeno que ingresa a las fibras musculares genera un estado de fatiga mucho más rápido en las fibras de contracción lenta, lo que genera un déficit de fuerza a la hora de realizar la contracción. De esta manera las fibras rápidas son activadas para poder suplir la deuda de fuerza que se generó por la falta de oxígeno, permitiendo así trabajar las fibras glucolíticas con bajas 27 cargas de peso, bajo la oclusión vascular (Loenneke, Wilson, & Wilson, A Mechanistic approach to blood flow occlusion., 2010)

Además de esto, el estado de hipoxia provoca un problema de estrés oxidativo, esto se conoce como el desequilibrio entre los radicales libres que se encuentren en un sistema, y la incapacidad de este para poder eliminar estas moléculas de dicho sistema, y puede resultar en diversos tipos de daño tanto a proteínas, como lípidos, e incluso al ADN (Clanton, 2007).

De esta forma el estado de hipoxia que se genera limita la disposición de oxígeno que ingresa a la célula y por tanto, la capacidad de eliminar los radicales libre que se acumulan al interior de esta, produciendo constantemente moléculas de NADH y FADH₂, a partir del metabolismo de la glucosa (Manini & Clark, 2009)

Hormona del crecimiento (GH)

En la actualidad se ha demostrado que el entrenamiento bajo oclusión vascular ayuda en la estimulación de la secreción de la hormona de crecimiento (GH), incluso llegando a aumentar en 290 veces su valor basal. Esto se debería a un incremento en la acidez del pH causando el aumento del ácido láctico en sangre debido a la oclusión (Takarada, y otros, 2000).

Sin embargo, se han encontrado referencias en las cuales el lactato en sangre se mantiene igual en condiciones de isquemia, y en condiciones normales, y a pesar de esto el aumento en la secreción de la hormona del crecimiento fue mayor en el entrenamiento bajo oclusión vascular que sin ella, esto nos indica que la vía por la cual se genera la secreción de GH es una diferente a la del lactato (Reeves, y otros, 2005).

Aunque el entrenamiento bajo oclusión vascular ha demostrado tener una incidencia positiva en la secreción de GH, la secreción de esta, no es un factor que genere hipertrofia por sí misma, sin embargo, la concentración de hormona de crecimiento estimula la secreción de la proteína IGF-1 o factor de crecimiento insulínico tipo 1, el cual si tiene relación directa en la generación de hipertrofia (Martin-Hernandez, Marin, & Herrero, 2011).

En este sentido, en un estudio realizado por (Takano, y otros, 2005) en el que se midieron a 11 sujetos sanos, realizaron el ejercicio de extensión de rodillas a partir de los 90°, al mismo tiempo se agregó una presión de bandas del 130%, y se les pidió que realizaran 30 repeticiones del ejercicio con una carga del 20% del RM, y se tomó una muestra de sangre al minuto 0, 1, 10 y 30. Los resultados encontrados arrojaron que la secreción de la hormona de crecimiento y la IGF-1 aumentaron, y al mismo tiempo se encontró un aumento en la sección transversal del muslo, lo que podría indicar la relación entre la hormona de crecimiento y la IGF-1, y su relación con la generación de hipertrofia. A pesar de esto, la hormona de crecimiento alcanzó su máximo punto de concentración a los 30 minutos pasados del ejercicio, mientras que el IGF-1 lo hizo tras el mismo ejercicio, esto indica una disparidad entre ambos, y por consiguiente no necesariamente el aumento en las concentraciones de hormona de crecimiento indicará un aumento en la secreción de IGF-1.

De esta forma podemos decir que, si bien el aumento de la hormona de crecimiento es potencialmente efectivo con el entrenamiento bajo oclusión vascular, los mecanismos por los cuales se logra la hipertrofia aun no son claros.

Síntesis proteica

Aunque el mecanismo por el cual se genera hipertrofia en el musculo, a través del entrenamiento oclusivo vascular no está claro, el trabajo bajo isquemia tiene una gran incidencia en la síntesis proteica generada. Dicho esto, a continuación, mencionaremos los principales grupos proteicos secretados a través de un entrenamiento bajo oclusión vascular. En primera instancia a través del protocolo de entrenamiento oclusivo vascular, se estimula la vía de generación de síntesis proteica de la mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1) incluso pasado un tiempo posterior al ejercicio (Fry, y otros, 2010).

De esta forma se estimula la secreción de la proteína S6 kinasa 1 (S6K1) incluso 3 horas posterior al ejercicio (Fujita, y otros, 2007), la cual está involucrada en la estimulación de la hipertrofia, dado que ejerce un aumento en la eficacia de la síntesis proteica. Por otro lado el entrenamiento bajo isquemia, tiene cierta incidencia al estimular otra vía de generación de hipertrofia a través de la heat shock protein (HSP), la cual podría tener un papel fundamental en la prevención de la atrofia muscular, por lo que tendría directa relación con la hipertrofia (Paez, Diaz, De Hoyo Lora, & Corrales, 2009).

La estimulación de dicha proteína se debe a la acidez del pH, la acumulación de calcio (Ca^{+}), la isquemia, entre otros factores importantes que ayudan a secretar y liberar dicha proteína (Martinez Diaz, Carrasco Paez, Sañudo Corrales, & Hoyo Lora, 2010).

Además de lo expuesto anteriormente, se ha estipulado que el entrenamiento bajo oclusión vascular tiene un factor inhibitor sobre la miostatina, la cual es un factor limitante de la hipertrofia, y al inhibir la normal función de dicha hormona, resultaría en la generación de hipertrofia (Loenneke & Pujol, 2009).

Ventajas y desventajas del método de restricción de flujo sanguíneo

Riesgos propios del entrenamiento

En la actualidad el trabajo bajo oclusión vascular es un protocolo que ha sido muy estudiado en variadas investigaciones y con múltiples propósitos (Nakajima, y otros, 2006), pero al ser una innovación genera ciertas inquietudes sobre su implementación y seguridad, tanto a la hora de realizar los ejercicios, como posterior a su implementación y finalización, en el sentido que pudiesen aparecer algún tipo de efectos secundarios asociados a la presión ejercida para poder efectuar la oclusión (Manini & Clark, 2009).

En este sentido es que nos vemos en la obligación de poder determinar los principales riesgos que presenta este tipo de entrenamiento. En primer lugar, uno de los primeros riesgos que pudiese existir es el de la aparición de varices o daño en las válvulas de las venas, dado que al ocluir la zona a trabajar, se presenta un estado de restricción del flujo sanguíneo, seguido de una dilatación del vaso sanguíneo restringido, por lo que el exceso de sangre que vuelve a circular por el vaso sanguíneo, puede resultar en algún tipo de daño a las válvulas de las venas (Loenneke J. , Wilson, Wilson, Pujol, & Bembien, 2011).

Sin embargo, no se encontraron estudios que reportaran este tipo de daños estructurales en las válvulas venosas. Por otro lado, podemos mencionar complicaciones relacionadas con el elemento que se utiliza para generar la oclusión, ya sea un esfigmomanómetro, una cámara de neumático u otro objeto. En este sentido, la presión ejercida por el objeto externo sobre la zona a trabajar puede generar algún tipo de complicaciones. En primer lugar, el entumecimiento surge a partir de la presión ejercida sobre el nervio radial que proviene desde las vértebras cervicales 5, 6, 7, 8 y desciende por el brazo por su parte media y luego en forma de espiral toma lugar por la cara externa del humero. En este la presión que se ejerce sobre la zona realiza una presión sobre dicho nervio genera tres afecciones ha dicho nervio:

- 1.- Traumatismo por la presión hacia el nervio.
- 2.- Disminuye el flujo de sangre hacia nervio, en todo el espesor del nervio.
- 3.- Se genera una fibrosis al interior del nervio y alrededor, como respuesta a la isquemia y a la presión local (De Santolo, 2005).

Otro de los riesgos asociados a este tipo de entrenamiento puede ser la aparición de los desmayos o síncope, provocados por el aumento de la presión arterial durante el ejercicio, esto debido a la presión externa que se genera con el objeto compresor de la zona a trabajar, lo que bajaría el flujo de sangre al cerebro (Nakajima, y otros, 2006).

En este sentido, los mecanismos por los que se genera un síncope serían el trastorno del tono simpático esto que provocará un aumento en la actividad vagal y posterior bradicardia; se dificulta la inervación sanguínea del sistema nervioso simpático, añadiendo una hipotensión ortostática; además las cardiopatías con una baja carga cardíaca, son las causas más frecuentes de los desmayos o síncope, así mismo es posible creer en la generación de dolor que una presión externa pudiese provocar sobre la extremidad trabajar, dado que el estrés oxidativo que pudiese ocurrir, resultado de una serie de cambios fisiológicos al interior del músculo, pudiese resultar en algún tipo de dolor muscular (Manini & Clark, 2009) , sin embargo se ha demostrado que el entrenamiento bajo oclusión vascular no genera más dolor que un entrenamiento tradicional de hipertrofia de alta intensidad (Chulvi-Medrano, 2011).

A pesar de las muchas preocupaciones sobre el protocolo de entrenamiento bajo oclusión vascular, según un estudio realizado en Japón (Nakajima, y otros, 2006), en el cual se encuestaron a 195 centros que trabajaron con el protocolo KAATSU, de los cuales se recibieron respuestas de 105 de dichos centros. En dicha encuesta se preguntó acerca de las principales complicaciones que se presentaron al realizar el protocolo de entrenamiento KAATSU, y se encontró que la mayor contraindicación del protocolo fueron las hemorragias subcutáneas, la cual se presentó en el 1651 de los sujetos que realizaron el entrenamiento, sobre las 12.642 personas que habían realizado el protocolo hasta esa fecha. Por otro lado, se encontró que en 164 de los sujetos que realizaron el protocolo de entrenamiento, se presentó un entumecimiento, muy posiblemente debido a la presión que se ejerce sobre los nervios periféricos a la zona en la que se ejerce la compresión. Además, efectos más severos como las trombosis o la embolia pulmonar, se presentaron en muy pocos casos. A pesar de las evidencias mostradas anteriormente, se ha demostrado que este tipo de entrenamiento no presenta evidencias de posible generación de coágulos, dado que en el estudio realizado por (Loeppky, Gurney, Kobayashi, & Icenogle, 2005), en el que se

midió a los sujetos a través de ultrasonidos inmediatamente después del ejercicio y una vez se retiró la presión externa, y al mismo tiempo, se realizó una mediación previa y después de la finalización del protocolo, se demostró que no existieron evidencias de posible generación de coágulos en las venas de los sujetos que realizaron la intervención. Dicho esto, podemos inferir que, a pesar de poder presentarse algún tipo de complicaciones, se ha demostrado que el método de entrenamiento bajo oclusión vascular es muy seguro y viable para presentarse como una alternativa al trabajo de la hipertrofia.

Ventajas del entrenamiento

Hoy en día el entrenamiento bajo oclusión vascular comienza a tomar cada vez más fuerza, esto por los beneficios y ventajas tan grande que presenta este método versus otro tipo de entrenamiento de hipertrofia. En este sentido cabe destacar que una de las principales ventajas que presenta el protocolo de entrenamiento es que “bajo condiciones de restricción el flujo sanguíneo muscular, incluso a corto plazo y de baja intensidad el ejercicio puede inducir la fuerza muscular y la hipertrofia” (Takarada, y otros, 2000).

Por otro lado, los beneficios que presenta este protocolo de entrenamiento en el plano estructural al aumentar la masa muscular de las zonas a trabajar en tiempos muy acotados, dado que se ha demostrado que, a partir de 2 semanas de ejercicios de baja intensidad bajo oclusión vascular, se lograron aumentos transversales sobre la sección media del muslo (Abe, y otros, 2005).

En dicho estudio se trabajó con 16 hombres activos físicamente, en los cuales se trabajó durante dos semanas continuas, durante 6 días a la semana en el cual se utilizaron 15 repeticiones en dos ejercicios dinámicos como la sentadilla y el curl de pierna. Los resultados que se encontraron en dicha investigación fueron que el entrenamiento bajo oclusión vascular aumento el volumen del musculo cuádriceps, bíceps femoral y el glúteo mayor de los participantes en un 7,7%, 10,1% y 9,1% respectivamente. Esto nos puede indicar que, con muy poco tiempo de trabajo bajo oclusión vascular, se pueden lograr un grado de hipertrofia en las zonas que se desean trabajar. En cuanto a lesiones y su tiempo de recuperación, en sujetos lesionados del ligamento cruzado anterior se han demostrado beneficios de un estímulo oclusivo. Con la cirugía de la rodilla, la supresión de la atrofia por desuso de los músculos del muslo se ha considerado como importante porque la

rehabilitación general toma un período prolongado para recuperar la fuerza muscular original (Takano, y otros, 2005).

Un estudio prospectivo realizado durante 16 semanas posteriores a la reconstrucción del ligamento cruzado anterior de 44 sujetos, de los cuales en forma al azar un grupo fue entrenado con restricción del flujo sanguíneo y otro grupo entrenado sin restricción se evaluaron los extensores y flexores de la cirugía donde se demostró un aumento significativo en la fuerza muscular en el grupo con restricción del flujo sanguíneo en comparación con el grupo sin restricción. (Ohta, y otros, 2003) sugieren a partir de su estudio antes mencionado que el entrenamiento durante la restricción moderada de flujo sanguíneo es eficaz en la 33 rehabilitación después de la reconstrucción del LCA. Demostrando a través de sus hallazgos las posibilidades del método usado no solo en la rehabilitación después de la reconstrucción del LCA, sino que además en la formación de músculos atrofiados en general. (Kramer & Goodyear, 2007) Señala que el ejercicio de alta intensidad proporcional al 80% de una repetición máxima (RM) produce un aumento de 100 veces de la concentración plasmática de GH, mientras que un ejercicio de resistencia de baja intensidad a corto plazo cuando se combina con la reducción del flujo sanguíneo muscular (20% de 1 RM) produce un aumento de 290 veces. Teniendo en cuenta los resultados se puede decir que el ejercicio de resistencia de baja intensidad a corto plazo con oclusión del flujo sanguíneo estimula enormemente la secreción de GH a través de la acumulación regional de metabolitos sin daño tisular considerable (Takarada, y otros, 2000).

Por último, en cuanto al funcionamiento de las fibras musculares, las fibras lentas bajo condiciones de entrenamiento normales son reclutadas primeramente y cuando la intensidad del ejercicio va en incremento, se reclutan según sean necesarias las fibras rápidas. En contraste, bajo condiciones de isquemia, las fibras rápidas son reclutadas a intensidades bajas también (Moritani Toshio, Michael Sherman, Masashi Shibata, Tamaki Matsumoto, & Minoru Shinohara, 2000).

Utilidades del entrenamiento bajo oclusión vascular

Está comprobado que el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo compromete el aumento de la masa muscular evidenciado mediante resonancias magnéticas ,en distintos

tipos de ejercicios acompañados de oclusión. Esta condición puede ser usada para favorecer diferentes condiciones como lo son las rehabilitaciones de lesiones en donde se necesita el aumento de masa muscular para lograr recuperaciones óptimas, como también la ayuda a personas de edad mayor o 34 personas que padecen de sarcopenia, la cual “es una condición caracterizada por la pérdida de masa muscular esquelética y su funcionalidad. Aunque es principalmente una enfermedad de los ancianos, su desarrollo puede estar asociado con condiciones que no se ven exclusivamente en las personas de edad. La sarcopenia es un síndrome que se caracteriza por la pérdida progresiva y generalizada de la masa muscular esquelética y la fuerza y que se correlaciona estrictamente con discapacidad física, la mala calidad de la vida y la muerte” (Santilini, Bernetti, Mangone, & Paoloni, 2014).

Por ende podemos asumir que los mecanismos que representan una disminución en la fuerza muscular se reflejan como la cantidad máxima de fuerza que puede ser producida voluntariamente (Clark & Manini, 2010).

El trabajo de la musculatura vendría siendo una ayuda concreta para favorecer a gente que padece de sarcopenia, sin embargo, su propia condición le imposibilita levantar elevadas cargas, lo cual es lo que se necesita para un trabajo de aumento de la masa (hipertrofia) con trabajos sobre el 70% de 1RM (American College of Sports Medicine, 2009). Es por esto que el trabajo de oclusión sería de utilidad para estas personas, ya que se trabaja con cargas relativamente bajas que fluctúan entre el 20% y 50% de 1 RM pudiendo ser capaces de levantar ese peso y a la vez teniendo ganancias con respecto a su masa muscular favoreciendo a disminuir el desarrollo de la enfermedad.

Entrenamiento oclusivo como tratamiento

El desequilibrio en el balance entre la síntesis y la degradación proteica es la principal causa de atrofia muscular por falta de uso. Durante los largos periodos de inmovilización es una de las principales causas por las cuales la rehabilitación se alarga, ya que es necesario recuperar la funcionalidad de la musculatura afectada. Dado que los mecanismos normales necesarios para el aumento de fuerza y masa muscular pueden resultar excesivos o peligrosos para los pacientes que se encuentran en estas situaciones, el entrenamiento oclusivo puede ser un método efectivo para inducir estos estímulos de forma segura y de

esta forma acortar los plazos de recuperación. Los dos estudios analizados que utilizan dicho método en el periodo de rehabilitación lo hacen en pacientes tras ser intervenidos en una reconstrucción del LCA. Sin embargo, lo utilizan de forma diferente.

Los resultados obtenidos por (Takarada, Takazawa, & Ishii, Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles, 2000), demuestran que la aplicación de la oclusión sin realizar ningún tipo de ejercicio disminuye la pérdida de masa muscular en los flexores y los extensores de rodilla durante el periodo inicial de inmovilización tras la intervención. También obtuvieron resultados positivos en cuanto a la disminución de la pérdida de masa muscular (Ohta, y otros, 2003), aunque en este caso llevaron a cabo la intervención realizando ejercicios.

Además, también observaron que se disminuía la pérdida de fuerza muscular. Por lo tanto, podemos afirmar que la aplicación del EO es efectiva para atenuar las pérdidas de masa muscular y fuerza que se producen tras una intervención de reconstrucción de LCA. En una revisión llevada a cabo por (Loenneke, y otros, 2012), se sugirió un modelo de aplicación del método durante los procesos de rehabilitación para lesiones de miembro inferior que requieran inmovilización o estar en cama. Se divide en varias fases en las que se aplicaría el estímulo de diferente forma:

- Fase I: cuando el sujeto se encuentra encamado o con la extremidad inmovilizada, se aplicará la restricción de flujo sanguíneo sin estímulo para disminuir la pérdida de masa muscular debido a la inactividad.
- Fase II: cuando el paciente es capaz de realizar apoyos, se puede combinar el EO con ejercicio aeróbico suave como caminar o bicicleta estática para mantener o comenzar a aumentar la masa muscular y la fuerza.
- Fase III: en la tercera fase, mientras que el sujeto no sea capaz de movilizar grandes cargas, se puede realizar el EO con cargas ligeras con la finalidad de aumentar de forma considerable la fuerza y la masa muscular.
- Fase IV: en la fase más avanzada, cuando el paciente ya se encuentre en condiciones de movilizar grandes cargas, se realizará dicho trabajo de forma 27 aislada en combinación con sesiones de EO para ir introduciendo poco a poco las adaptaciones propias del entrenamiento de alta intensidad.

Abordaje metodológico

Recolección de datos

De 55 investigaciones quedaron 7 recogidas. Consistió en una revisión bibliográfica en las bases de datos, donde se limitó el año de publicación de los artículos, tomando un lapso de 21 años como adecuado, es decir, entre el año de 2000 a 2021. La mayor parte de los artículos están escritos en español, inglés, portugués como idiomas principales.

Para algunas definiciones claves de la revisión, no se estableció un límite de año, porque, a pesar del tiempo, muchos conceptos siguen vigentes, como conceptos de hipertrofia, de fuerza, entre otros más.

La técnica para la recopilación de los datos se le denomina, investigación bibliográfica, debido a que este instrumento constituye un apoyo inmediato, no implica ningún costo y es fácilmente cuantificable.

El medio para la búsqueda de información fue mediante cinco (5) bases de datos, las cuales son: Google Académico, PubMed, Redalyc, Scielo, Dialnet.

Criterios de inclusión

- Tipo de estudio: Ensayos clínicos aleatorios.
- Periodo de publicación. Todos aquellos estudios publicados entre 2000 y 2021.
- Tipo de intervención. Cualquier tipo de intervención en la que se realizara actividad física con restricción de flujo sanguíneo comparada con actividad física sin restricción de flujo sanguíneo o con ninguna otra intervención.
- Tipo de participantes. Pacientes que presentaban alguna patología musculoesquelética. Población adulta y población anciana. Personas no activas, activas, entrenadas y atletas.
- Medidas de resultado. Sección transversal de la extremidad (hipertrofia muscular) y la fuerza muscular (RM).
- Idioma. Aquellos estudios disponibles en inglés, español y portugués.

Criterios de exclusión

- Fueron excluidos otros tipos de publicaciones (estudios piloto, protocolos de estudio y estudios sin intervención de la oclusión).
- Los estudios que usaban otra herramienta que no era la oclusión para provocar hipoxia.
- Publicaciones en el que no había un control ni una medida eficaz de la hipertrofia y la fuerza muscular.
- Investigaciones que no usaban la restricción de flujo sanguíneo con una patología específica.
- Estudios publicados antes del 2000.
- idioma que no fuera inglés, español o portugués.

Análisis e interpretación del material relevado

Categorías de análisis

- Entrenamiento de baja intensidad
- Restricción de flujo sanguíneo
- Respuestas morfológicas.

Categoría	Análisis
Respuesta morfológica	Takarada en su estudio comprobó que entre el día 3 y el 14 tras la operación de aplicar al grupo experimental (n=8) dos oclusiones diarias de 5 series con 5 min de oclusión y 3 de reposo, que la aplicación de oclusión sin estímulo tras una intervención de rodilla disminuye la atrofia derivada de la falta de movilidad.
Restricción de flujo sanguíneo	Segal N. et al. Demostraron que el EO mejora los valores de fuerza muscular en comparación con el entrenamiento sin oclusión en mujeres con factores de riesgo de sufrir artritis sintomática de rodilla. Por su lado Ohta H. et al. Demostraron que el entrenamiento oclusivo mejora la rehabilitación tras la reconstrucción de LCA. Ambos grupos realizan un protocolo de ejercicios de rehabilitación y el grupo experimental (n=22) lo realiza con restricción de flujo a partir de la segunda semana.

Entrenamiento de baja intensidad	Abe T. et al. En su estudio publicaron que durante 5 días semanales a lo largo de 6 semanas el grupo experimental (n=11) caminó a un ritmo de 67 m/min durante 20 min y oclusión, mientras que el otro grupo no se ejercitó. 6 semanas de caminar con oclusión producen mejoras en la fuerza muscular y la hipertrofia en personas de edad avanzada. Vechin F. et al. Sugirieron que ambos métodos son efectivos a la hora de mejorar tanto el volumen como la fuerza muscular, aunque el entrenamiento con cargas altas produjo mayores mejoras Fujita, T. (2008) por su lado, observó hipertrofia muscular significativa sólo en el grupo LIT BFR (2,4%). Aumento de la fuerza de extensión de la rodilla 1-RM (6,7%). No hubo aparente daño muscular asociado con el entrenamiento en los niveles sanguíneos de creatina quinasa, mioglobina e interleucina. Realizaron entrenamiento de resistencia de baja intensidad con método oclusivo (n = 8, LIT-BFR) y sin (n = 8, LIT-CON) dos veces al día durante 6 días. El entrenamiento involucró 4 series de ejercicio de extensión de la rodilla (75 contracciones totales) al 20% 1-RM
----------------------------------	---

(Takarada, Takazawa, & Ishii, Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles, 2000) llevaron a cabo una intervención sobre 16 pacientes que fueron intervenidos quirúrgicamente para realizar una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Estos pacientes permanecieron inmovilizados durante dos semanas tras la intervención. Desde el tercer día hasta el decimocuarto, al grupo 20 experimental (n=8) se le aplicó una restricción de flujo sanguíneo en la parte proximal del muslo con un manguito cuya presión varió entre 200 y 260 mm Hg, mientras que en el grupo control (n=8) se colocó el manguito, pero sin inflarlo. El estímulo oclusivo consistió en realizar 5 minutos de oclusión con 3 minutos de descanso, durante cinco series repetidas dos veces al día. Se midió el área de sección transversal de la musculatura del cuádriceps el primer día y el

último y se encontró que en el grupo control había disminuido un $20.7 \pm 2.2\%$, mientras que en el grupo experimental disminuyó un $9.4 \pm 1.6\%$. Respecto a la musculatura de los flexores de rodilla, la disminución fue de $11.3 \pm 2.6\%$ en el grupo control por un $9.2 \pm 2.6\%$ en el experimental.

(Ohta, y otros, 2003) realizaron un estudio sobre 44 pacientes en los que se llevó a cabo una reconstrucción del LCA. En este caso, el estudio se prolongó durante 16 semanas tras la intervención. Durante este tiempo se llevó a cabo el programa de rehabilitación normal, con la realización de seis ejercicios distintos, pero a partir de la segunda semana el grupo experimental (n=22) comenzó a realizar los ejercicios aplicando la restricción de flujo sanguíneo. Esta restricción se llevó a cabo aplicando una presión de 180 mm Hg con el manguito colocado en la parte proximal del muslo. Los ejercicios realizados fueron los siguientes: elevaciones con la pierna extendida y abducciones de cadera, ambas mantenidas 5 segundos 20 veces, en dos series diarias, 6 días a la semana desde la primera semana a la octava, la primera sin carga, de la segunda a la cuarta con 1kg y de la quinta a la octava con 2 kg; aducción de cadera apretando una pelota entre las rodillas a esfuerzo máximo durante 5 segundos, 20 veces, en dos series diarias durante 6 días a la semana desde la primera hasta la decimosegunda; media sentadilla mantenida 6 segundos repetida 20 veces en dos series diarias y subir y bajar un step de 25 cm repetido 20 veces en tres series diarias, ambos ejercicios ejecutados seis días a la semana, quinta y sexta sin carga, séptima y octava con 4-6 kg, entre la novena y la duodécima con 8-10 kg y entre la decimotercera y decimosexta con 12-14 kg; flexión de rodilla de 45 a 100 grados con una banda elástica en 20 repeticiones diarias durante 6 días a la semana entre la novena y la duodécima semana y dos series diarias durante 6 días semanales entre la decimotercera y decimosexta semana. Se midieron valores de la fuerza de contracción concéntrica isocinética a velocidades angulares de 60° y 180° por segundo, así como de la fuerza de contracción isométrica a 60° de flexión de rodilla, tanto en flexores como en extensores antes de la operación y después de las 16 semanas de intervención. En estos datos se observó una disminución mayor de los valores de fuerza en el radio pierna operada/sana en el grupo control: en contracción isocinética a velocidad de 60° por segundo 86% antes y 55% después de la operación (84 y 76% respectivamente en el experimental), a 180° por segundo 90% antes y 65% después (84 y 77% en el experimental) y en la contracción 21 isométrica 94% antes y 63% después

(92 y 84% respectivamente en el experimental). También se realizaron mediciones en el rango de movimiento de extensión y de flexión, así como de la inestabilidad anterior de la rodilla, pero en ninguno de los casos se observaron diferencias significativas entre los datos obtenidos antes de la operación y después de las 16 semanas de intervención. Se llevaron a cabo mediciones del área de sección transversal de la musculatura extensora de rodilla y de los flexores de rodilla junto con los abductores. En el caso de los extensores sí que se encontraron diferencias, aumentando significativamente en el grupo experimental (Ratio pierna lesionada/sana 92% y pre/post operación 92% en el control, por 91 y 101% respectivamente en el experimental). También se realizaron mediciones del diámetro de las fibras musculares, tanto tipo I como tipo II, en 8 pacientes de cada grupo, pero las diferencias que se observaron no fueron significativas en ninguno de los dos casos.

(Abe, y otros, 2010) realizaron su estudio con 19 personas de edad avanzada. El grupo control (n=8) continuó realizando las actividades físicas de la vida diaria sin añadir ningún tipo de ejercicio, mientras que el grupo experimental (n=11) caminó en cinta durante 20 minutos diarios a una velocidad de 67 m/min, durante cinco días a la semana a lo largo de 6 semanas. Este ejercicio lo llevaron a cabo con un manguito en cada pierna en la parte proximal del muslo, con una presión inicial de 160 mm Hg que se fue incrementando 10 mm Hg cada semana hasta alcanzar 200 mm Hg. En este grupo, la circunferencia del muslo y la pierna incrementó significativamente, con un aumento del área de sección transversal del 5.8% y 5.1% respectivamente, pero no en el grupo control. La masa muscular total incrementó en un 6.0% y un 10.7% en el muslo en el grupo experimental. En este grupo también incrementó la fuerza máxima de extensión isométrica de rodilla un 11.8%, mientras que en el grupo control disminuyó un 2.2%. Respecto a la fuerza isocinética en el grupo experimental, en extensión las mejoras variaron entre un 7.1% y un 12.2% y en flexión entre un 13.4% y un 16.1%, mientras que en el control no variaron. No se produjeron mejoras del VO₂máx estimado en ninguno de los dos grupos, sin embargo, el grupo experimental incrementó significativamente en los test funcionales.

(Vechin, y otros, 2015) compararon el uso del entrenamiento de alta intensidad con el EO en 23 personas de edad avanzada. El grupo control (n=7) mantuvo sus actividades de la vida diaria, mientras que los otros dos llevaron a cabo un ejercicio de press de pierna 2 días

a la semana durante 12 semanas. El grupo que entrenó con alta intensidad (n=8) lo hizo al 70% de 1RM durante las 6 primeras semanas y al 80% las 6 últimas, realizando 4 series de 10 repeticiones con un minuto de descanso entre series. El grupo del EO realizó 4 series con el mismo descanso y con un total de 75 repeticiones (30-15-15-15) a una intensidad del 20% de 1RM las primeras 6 semanas y 30% las últimas. Los resultados en cuanto a la mejora del 1RM fueron los siguientes: en el grupo de alta intensidad, 177 ± 104 kg antes, 266 ± 140 kg después; en el grupo de EO, 273 ± 114 kg antes, 316 ± 141 kg después; y no hubo cambios en el grupo control. En cuanto al área de sección transversal del cuádriceps, los resultados fueron: grupo de alta intensidad 56.9 ± 14.9 cm² antes de la intervención y 61.1 ± 14.8 cm² después, grupo de EO 67.4 ± 21.5 cm² antes y después 71.4 ± 22.1 cm², y no hubo cambios en el grupo control.

(Segal, Williams , Davis, Wallace, & Mikesky, 2015) llevó a cabo una intervención similar pero esta vez sobre un grupo de 40 mujeres con factores de riesgo de padecer osteoartritis sintomática de rodilla [37]. Realizaron el mismo protocolo, pero en este caso los resultados fueron distintos: además del 1 RM en el press de pierna (28.3 ± 4.8 kg grupo experimental por 15.6 ± 4.5 kg), se obtuvieron mejoras en la fuerza isocinética de los extensores de rodilla, 0.07 ± 0.03 nm/kg en el grupo experimental (n=19) por -0.05 ± 0.03 nm/kg en el grupo control.

En la investigación de (Fujita, Brechue, Kurita, Sato , & Abe, 2008) cabe destacar que se realizó en Hombres jóvenes sanos realizaron entrenamiento de resistencia de baja intensidad con método oclusivo (n = 8, LIT-BFR) y sin (n = 8, LIT-CON) dos veces al día durante 6 días. El entrenamiento involucró 4 series de ejercicio de extensión de la rodilla (75 contracciones totales) al 20% 1-RM. Los cambios en la masa muscular y la fuerza después de 6 días (12 sesiones) de entrenamiento de resistencia de baja intensidad requieren BFR para producir respuestas comparables al efecto de varias semanas de entrenamiento de resistencia de alta intensidad.

En el artículo (Fahs, y otros, 2015) el periodo de entrenamiento fue de 6 semanas, la mitad con respecto a los anteriores estudios, pero se aplicaron en total unas 18 sesiones (3 sesiones por semana). Utilizaron el ejercicio oclusivo hasta llegar a la fatiga controlando el tiempo de la fase concéntrica y excéntrica con un máximo de 5 segundos en la ejecución al

30% RM con descansos de 1 min entre series. El total de series fueron de 2-3-4 cada dos semanas de entrenamiento.

Conclusión

La evidencia científica disponible sobre el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo en la mejora de la hipertrofia y fuerza sugiere que el método oclusivo tiene beneficios en la mejora fisiológica muscular. A través de los ejercicios tanto excéntricos como concéntricos se puede generar un daño muscular que parecería estar asociado a la ganancia de masa muscular. Sin embargo, se ha descrito que el daño muscular en sí no es el causante de la hipertrofia muscular, pero si de una respuesta inflamatoria. A su vez ésta desencadena una respuesta en las isoformas de este mismo factor de crecimiento, las cuales tienen conexión con la estimulación y proliferación de las células satélite que tienen una estrecha relación en la generación de hipertrofia muscular. Este daño se puede definir como el punto en el que, en un ejercicio, los músculos ya no pueden producir la fuerza necesaria para concéntricamente levantar una carga dada. Aunque las ventajas de la formación al fallo siguen siendo un tema de debate, se cree comúnmente que entrenar al fallo muscular es necesario para maximizar la respuesta hipertrófica. La ejercitación al fallo también puede mejorar el estrés metabólico inducido por el ejercicio, potenciando de este modo como ya es sabido, una respuesta hipertrófica. Según los estudios anteriormente mencionados se revela que el entrenamiento al fallo con reducción de los descansos causa concentraciones de IGF-1. Entonces, si bien es prudente añadir ejercicios realizados al fallo en un entrenamiento orientado a la hipertrofia, su uso debe ser bien calendarizado y/o limitado para evitar el sobreentrenamiento. El entrenamiento oclusivo es un método poco seguro ya que puede afectar negativamente a la salud de los sujetos expuestos, dependiendo de la edad y sexo. Pero empleando material oclusivo, el entrenamiento de resistencia causa unos valores más altos en el tamaño y fuerza del músculo que el entrenamiento aeróbico. Esta diferencia está probablemente relacionada con el aislamiento y especificidad del trabajo muscular elaborado en el ejercicio de resistencia. El entrenamiento de baja intensidad con restricción de flujo sanguíneo resulta más eficaz para el incremento de la sección transversal y la fuerza muscular en la estructura implicada que un entrenamiento de las mismas características sin oclusión añadida o suplementaria. El método oclusivo a baja intensidad puede utilizarse como alternativa al entrenamiento de resistencia de alta

intensidad. El entrenamiento oclusivo es un método seguro ya que no parece afectar negativamente a la salud de los sujetos expuestos. Por lo tanto, destinado a sujetos sanos sedentarios, activos y deportistas, así como en personas mayores e individuos en período de rehabilitación. La evidencia sugiere que, empleando material oclusivo, el entrenamiento de resistencia causa unos valores más altos en el tamaño y fuerza del músculo que el entrenamiento aeróbico. Esta diferencia está probablemente relacionada con el aislamiento y especificidad del trabajo muscular elaborado en el ejercicio de resistencia.

Bibliografía

- Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Osaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity walktraining with restricted leg blood flow on muscle on muscle strenght and aerobic capacity in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 34-40.
- Abe, T., Yasuda, T., Midrorikawa, T., Sato, Y., Keams, C. F., Inoue, K., & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two week soft wice daily "KAATSU" resistance training. *International journal of KAATSU training research* , 6-12.
- Ahtianen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strenght-trained and untrainedmen. *European journal of applied physiology*, 555-568.
- Badillo, J., & Ayestaran, E. (2002). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza:Aplicacion al alto rendimiento deportivo. Inde.
- Bamman, M. M., Shipp, J. R., Jiang, J., Gower, B. A., Hunter, G. R., Goodman, A., & Urban, R. J. (2001). mechanical load increase muscle IGF-I and androgen receptor mRNA, concentrations in humans. *American journal of physiology*, 383-390.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., . . . Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J applPhysiol*88.
- Campos, T., Gerson, E., Thomas, J., Luecke Heather, K., Wendeln Kumica, T., Fredrick, C., . . . Staron. (2002). Muscular Adaptation in Response to three Different Resistance Training. *European Journal of Applied* , 50-60.
- Chulvi-Medrano, I. (2011). Entrenamiento de fuerza combinado con oclusion parcial superimpuesta. *Revista Andaluza De Medicina Del deporte*, 121-128.
- Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., & Cook, C. (2006). possible estimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Spor medicine (NZ)*, 215-238.
- Cuadrado Zaenz, G., Pablos Abella, C., & Garcia Manso, J. M. (2006). El entrenamiento de la hipertrofia muscular. *Dialnet*.
- De Salles, B. F., Simao, R., Miranda, F., Novaes, J., da S, Lemos , A., & Willardson, J. M. (2009). Rest interval between sets in strength training. *Sports Medicine*, 765-777.
- De Santolo, R. A. (2005). La mano dormida por compresiones nerviosas. *Gaceta Medica de Caracas*, 485-499.

- Deschenes, M. R., Kraemer, W. J., Maresh, C. M., & Crivello, J. F. (2012). exercise induced hormonal changes and their effect upon skeletal muscle tissue. *Sport medicine*, 80-93.
- Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Rossow, L. M., Kim, D., Abe, T., & Beck, W. (2015). Muscular adaptations to fatiguing exercise with and without blood flow restriction. *Clinical physiology and functional imaging*, 167-176.
- Farthing, J. P., & Chilibeck, P. D. (2003). The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal of applied physiology*, 578-586.
- Fernandez Izquierdo, G. (2014). Grupos musculares en el trabajo de hipertrofia: revision bibliografica y propuesta de un modelo de entrenamiento eficiente y coherente. *PubMed*.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *sports medicine (Auckland, N.Z)*, 663-679.
- Fry, C. S., Glynn, E. L., Drummond, M. J., Timmerman, K. L., Fujita, S., Abe, T., & Rasmussen, B. B. (2010). blood flow restriction exercises stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *Journal of applied physiology*, 1199-1209.
- Fu, X., Wang, H., & Hu, P. (2015). Stem cell activation in skeletal muscle regeneration. *PubMed*, 1663-1677.
- Fujita, S., Abe, T., Drummond, M. J., Cadenas, J. G., Dreyer, H., Sato, Y., & Rasmussen, B. B. (2007). blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *Journal of applied physiology*, 903-910.
- Fujita, T., Brechue, W. F., Kurita, K., Sato, Y., & Abe, T. (2008). Increased muscle volume and strength following six days of low intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *International Journal of KAATSU training*, 1-8.
- Garten, R. S. (2011). the effect of partial vascular occlusion on oxidative stress and inflammatory markers in young resistance trained individuals. *the university of north carolina*.
- Goto, K., Nagasawa, M., Yanagisawa, O., Kizuka, T., Ishii, N., & Takamatsu, K. (2004). Muscular adaptations to combination so high- and low-intensity resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research/ National Strength and conditioning association.*, 730-737.
- Graves, J. E., & Barry, A. F. (2001). Resistance training for health and rehabilitation. *Human Kinetics*.

- Halson, S. L., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does over training exist an analysis of overreaching and over training research. *Sport medicine (Auckland, N.Z)*, 967-981.
- Hammed, M., Lange, K. H., Andersen, J. L., Schjerling, P., Kjaer, M., Harridge, S. D., & Goldspink, G. (2004). The effect of recombinant human growth hormone and resistance training on IGF-I mRNA expression in the muscles of elderly men. *The journal of physiology*, 231-240.
- Hernandez, S. B., & Medrano, I. C. (2013). Respuestas cardiovasculares al entrenamiento de fuerza bajo oclusion vascular. *revista de ciencias del deporte*, 161-172.
- Hill, M., & Goldspink, G. (2003). Expression and splicing of the insulin-like growth factor gene in rodent muscle associated with muscle satellite (stem) cell activation following local tissue damage. *The Journal of Physiology*, 409-418.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., Gonzales-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., & Giristuga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of applied physiology*, 1647-1656.
- Kraemer, P. W., & Ratamess, N. A. (2012). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sport Medicine*, 339-361.
- Kramer, H. F., & Goodyear, L. J. (2007). Exercise MAPK and NF-kappaB signaling in skeletal muscle. *Journal of applied physiology*, 388-395.
- Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A Mechanistic approach to blood flow occlusion. *International journal of sports Medicine*, 1-4.
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marin, P. J., Zourdos, M. C., & Bembien, M. G. (2012). Entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo de baja intensidad. *PubMed*, 849-859.
- Loenneke, J., & Pujol. (2009). The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *Journal Strength and conditioning*.
- Loenneke, J., Abe, T., Wilson, J., Thiebaud, R., Fahs, C., Rossow, L., & Bembien, M. (2012). Blood flow restriction: an evidence based progressive model (review). *Acta Physiol Hung*, 235-50.
- Loenneke, J., Wilson, J., Wilson, G. J., Pujol, T. J., & Bembien, M. G. (2011). Potential safety tissues with blood flow restriction training: safety of flow-restricted exercise. *Scandinavian Journal of medicine and science in sports*, 510-518.
- Loeppky, J. A., Burke, G., Yoshio, K., & Milton, V. (2005). Effects of ischemic training on leg exercise endurance. *PubMed*.

- Loeppky, J. A., Gurney, B., Kobayashi, Y., & Icenogle, M. V. (2005). Effects of ischemic training on leg exercise endurance. *the journal of rehabilitation research and development*, 511.
- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *PubMed*, 78-85.
- Martinez Diaz, I. C., Carrasco Paez, L., Sañudo Corrales, F., & Hoyo Lora, M. (2010). Proteinas de estres y ejercicio fisico.
- Martin-Hernandez, J., & others. (2013). Respuestas y adaptaciones de la funcion y estructura musculares al entrenamiento oclusivo con resistencias de baja intensidad.
- Martin-Hernandez, J., Marin, P. J., & Herrero, A. J. (2011). Revision de los procesos de hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento de fuerza oclusivo. *revista Andaluza de Medicina Del deporte*, 152-157.
- Miranda, H., Fleck, S. J., Simao, R., Barreto, A. C., Dantas, E. H., & Novaes, J. (2007). Effect of two different rest period lengths on the number of repetitions performed during resistance training. . *Journal of Strenght and conditioning research national strength and conditioning association*, 1032-1036.
- Mirella, R. (2006). Las nuevas metodologias del entrenamiento de la fuerza. la resistencia , la velocidad y la flexibilidad. Paidotribo.
- Moritani Toshio, W., Michael Sherman, Masashi Shibata, Tamaki Matsumoto, & Minoru Shinohara. (2000). Oxygen Availability and motor unit activity in humans. *European journal of applied physiology and occupation physiology*, 552-56.
- Nakajima, T., Kurano, M., Lida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., & Nagata, T. (2006). use and safety of kaatsu training: results of a national survey. *International journal of KAATSU training*, 5-13.
- Ohta, H., Kurosawa, H., Ikeda, H., Iwase, Y., Satou, N., & Nakamura, S. (2003). low-road resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament recontruction. *Acta Orthop Scand*, 62-8.
- Paez, L. C., Diaz, I. M., De Hoyo Lora, M., & Corrales, B. S. (2009). Proteinas de estres: respuestas y funciones de HSP70 en el musculo esqueletico durante el ejercicio fisico. *DEditorial 141*.
- Ratamess, N., Albar, B. A., Evetoch, T. K., Housh, T. J., Kibler, W. B., Kraemer, W. J., & Triplett, N. T. (2009). Special Communication. American College of Sports Medicine Position Stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *PubMed*, 687-708.
- Reeves, G. V., Kraemer, R. R., Hollander, D. B., Clavier, J., Thomas, C., Francois, M., & Castracane, V. D. (2005). compaison of hormone responses following light

- resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise with occlusion. *journal applied physiology*, 1616-1622.
- Rennie, M. J. (2003). claims for the anabolic effects of growth hormone: a case of the emperors new clothes. *British journal of sport medicine*, 100-105.
- Santilini, V., Bernetti, A., Mangone, M., & Paoloni, M. (2014). Clinical dinition of sarcopenia. 177-180.
- Sato, Y. (2005). the history and future of KAATSU training. *international journal of kaatsu*, 1-5.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and conditioning research, National Strength and conditioning association*, 2857-2872.
- Schreibman, M. (2012). the endocrinology of growth development and metabolims in vertebrates. *Acemicc press*.
- Segal, N., Williams , G., Davis, M., Wallace, R., & Mikesky, A. (2015). Efficacy of blood flow restricted low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis. *PM R*, 376-384.
- T.Nakijama, M. K. (2006). use and safety of kaatsu training. *International journal of kaatsu training*, 5-13.
- Takano, H., Morita, T., Lida, H., Asada, K., Kato, M., Uno, K., & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short term low -intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European Journal of applied physiology*.
- Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyasaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of applied Physiology*, 61-65.
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine of sport*, 2035-39.
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European journal of applied physiology*, 643-663.
- Vechin, F., Libardi, C., Conceição , M., Damas, F., Lixandrão , M., Berton, R., . . . Ugrinowtsch, C. (2015). Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and highintensity resistance training on quadriceps muscle mass and strenght in elderly. *J Strenght Cond Res.*, 1071-6.
- Willardson, J. M. (2007). thwe application of training to failure in periodize multiple-set resistance exercise programs. *journal of Strength*, 628-631.

- Willardson, J. M. (2006). brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *journal of strength and conditioning research national strength and conditioning association.*, 978-984.
- Wolfe, B. L., LeMue, L. M., & Cole, P. J. (2004). Quantitative analysis of single- vs multiple set programs in resistance training. *Journal of Strength and conditioning research national strength and conditioning association*, 35-47.