



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

ESCUELA DE KINESIOLOGIA

**Efectos del High Intensity Interval Training
(HIIT) en la masa muscular de adultos y
adultos jóvenes: Revisión de la literatura**

Trabajo presentado para optar al Título Profesional de Kinesiólogo

AUTORES: PAOLA DEL PILAR AHUMADA VALDIVIA

CAMILA IGNACIA CORNEJO FARIÁS

BÁRBARA SOFÍA URRADURÁN

ARACELLY BRENDA VALDERRAMA URRUTIA

PROFESOR GUÍA: SANDRA BECERRA MUÑOZ

Talca – Chile

2020

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2021

©2020, Paola Ahumada Valdivia, Camila Cornejo Farías, Bárbara Urra Durán, Aracelly Valderrama Urrutia.
Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

A nuestros padres por el apoyo incondicional en cada momento, gracias por forjar nuestro camino, por darnos las alas y enseñarnos volar, por sus palabras llenas de amor y aliento en los momentos más difíciles, por su esfuerzo para que todo esto se pudiera llevar a cabo, sin ustedes nada sería igual.

Gracias a nuestra tutora Klga. Sandra Becerra Muñoz, por entregarnos las herramientas y confianza en nosotras mismas, apoyarnos durante todo el proceso con su constante disposición y alentarnos siempre a ser mejores profesionales.

Tabla de contenidos

Tabla de contenidos	iiiiv
Índice de tablas	v
Índice de ilustraciones	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Introducción	1
Pregunta de investigación:	7
Objetivo general:	7
Objetivos específicos:	7
Metodología	8
Resultados	11
Discusión	17
1. Cambios moleculares en la masa muscular en el HIIT:	17
1.1. Biogénesis mitocondrial:	17
1.2. Síntesis de proteínas:	19
2. Cambios en la masa muscular por HIIT:	20
Conclusión	27
Referencias bibliográficas	29

Índice de tablas

Tabla 1 Cambios moleculares post entrenamiento HIIT en sujetos sanos	11
Tabla 2 Efectos del HIIT sobre la masa muscular en adultos obesos y sobrepeso.	13
Tabla 3 Fuerza muscular posterior a regímenes de entrenamiento de alta intensidad.	14
Tabla 4 Efectos del ejercicio concurrente en la masa muscular.	15

Índice de ilustraciones

Flujograma N°1: Selección de información.....	17
---	----

Resumen

Introducción: El sedentarismo y escasez de tiempo son problemas que aquejan a la población mundial, siendo la inactividad física responsable de 32 millones de muertes anualmente. Un tipo de entrenamiento tiempo-eficiente es el HIIT pues mejora la capacidad aeróbica y favorece la ganancia de masa muscular en poco tiempo. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos del HIIT sobre la masa muscular en la población adulta. **Metodología:** Revisión de la literatura, a partir de una búsqueda de estudios originales, consultando en las bases de datos: Pubmed, Scielo, Web of Science, Scopus y Cochrane Library. **Resultados:** Mejoras en la biogénesis mitocondrial, síntesis de proteína, masa muscular y fuerza muscular, además, cambios agudos en la masa muscular tras un ejercicio concurrente. **Conclusiones:** Existen mejoras en las variables estudiadas, sin embargo no hay un protocolo HIIT específico para generar cambios en estas variables. Es necesario realizar nuevos estudios que relacionen los efectos del HIIT en la masa muscular con un protocolo predeterminado en diferentes poblaciones y con un número mayor de participantes. **Palabras claves:** HIIT, masa muscular, fuerza muscular, biogénesis mitocondrial.

Abstract

Introduction: A sedentary lifestyle and short age of time are problems that afflict the world's population, with physical inactivity responsible for 32 million death annually. One type of time-efficient training is HIIT as it improves aerobic capacity and favors the gain of muscle mass in a short time. The objective of this study was to determine the effects of HIIT on muscle mass in the adult population. **Methods:** Literature review, based on a search for original studies, consulting the data bases: Pubmed, Scielo, Web of Science, Scopus and Cochrane Library. **Results:** Improvements in mitochondrial biogenesis, protein synthesis, muscle mass and muscle strength, in addition, sharp changes in muscle mass after concurrent exercise. **Conclusion:** There are improvements in the variables studied, however there is no specific HIIT protocol to generate changes in these variables. Further studies are needed to link the effects of HIIT on muscle mass with a predetermined protocol in different populations and with a larger number of participants. **Keywords:** HIIT, muscle mass, muscle strength, mitochondrial biogenesis.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la inactividad física es el cuarto factor de riesgo de mortalidad más importante a nivel mundial, por ser responsable del 5,5% del total de las defunciones, es decir, 32 millones de muertes producidas anualmente (OMS, 2009). El 60% de la población mundial no realiza los niveles de actividad física necesarios para obtener beneficios en su salud. Esto se debe a la escasez de tiempo, falta de ejercicio físico en los tiempos de ocio y un aumento del comportamiento sedentario durante las actividades laborales y domésticas. El sedentarismo comprende pasar largos periodos de tiempo en actividades de bajo costo energético (1.0 a 1.5 METs), a diferencia de la inactividad física que es un parámetro de incumplimiento de las recomendaciones de actividad física que sugieren las organizaciones de salud. En la población la recomendación es realizar 150 min de actividad aeróbica moderada o 75 minutos de actividad vigorosa a la semana. (Cristi-Montero, C. 2016).

La hipertrofia inducida por el ejercicio en programas tradicionales de entrenamiento de alta intensidad, resulta en un aumento de sarcómeros y miofibrillas, ya que, cuando el músculo esquelético está sometido a una sobrecarga de estímulos ocurren perturbaciones que desencadenan eventos miogénicos que conducen a un aumento en el tamaño y las cantidades de

las proteínas. Esto a su vez, aumenta el diámetro de las fibras individuales y por lo tanto hay un aumento en el área de la sección transversal muscular. (Schoenfeld B. J. 2010). Se ha demostrado que la intensidad en el ejercicio tiene un significativo impacto en la hipertrofia muscular y es posiblemente, lo más importante para estimular el crecimiento muscular (Fry A. C. 2004).

Por otro lado, el ejercicio de resistencia aeróbica es un potente estímulo para las adaptaciones metabólicas del músculo esquelético, y como tal, sirve para mejorar el contenido mitocondrial (Triolo, M. et al. 2018). Una de las vías de señalización mejor descritas que regulan el metabolismo mitocondrial implica la proteína quinasa activada por AMP (AMPK). Durante el estrés metabólico, AMPK se activa en respuesta al déficit de ATP y fosforila a acetil-CoA carboxilasa para aumentar la oxidación de ácidos grasos, y a el coactivador transcripcional del peroxisoma proliferador activado receptor-coactivador gamma 1 α (PGC-1 α), para estimular biogénesis mitocondrial. (Ould A. Y. et al. 2018).

Para entender las rutas que interfieren en la masa muscular es necesario conocer el concepto de mecanotransducción, que consiste en la transmisión o conversión de fuerzas mecánicas provenientes del medio extracelular, las cuales se transforman en señales bioquímicas intracelulares, generando adaptaciones en el medio (Díaz-Chinguer, D., et al. 2015). Por lo tanto, la inactividad física y el sedentarismo activan a rapamicina, que es una bacteria que inhibe el complejo mTORC1 y posterior activación de Akt, responsables de la síntesis de proteínas y aumento de la masa muscular

(Rudrappa, S. et al. 2016). Relacionado con lo anterior, se ha establecido que la inactivación de Akt genera una translocación de FOXO, desde el citoplasma al núcleo, la cual es una proteína que provoca la activación de genes que están involucrados en la proteólisis y muerte celular (Urso, M. 2009). En casos como la obesidad la presencia de tejido adiposo en regiones musculares acelera la translocación de FOXO, activando a sus respectivas ligasas (Atrogin-1 y MuRF) que actúan degradando proteínas (Zhu, S. et al. 2019). Respecto a estas dos últimas rutas, Atrogin y MuRF, se ha establecido que generan mecanismos de microautofagia, contribuyendo a la degradación de proteínas que se encuentran dañadas por algún tipo de agente y por medio de la remoción de organelos del músculo esquelético (Bonaldo, P, & Sandri, M, 2013). Sumado a esto, existe la proteólisis gracias a: las vías de las calpaínas, vía lisosomal y ubiquitin-proteosoma, siendo ésta última la principal responsable por la elevada pérdida de proteína muscular (Burkholder, T. 2007). A su vez, la atrofia muscular puede ser controlada al estimular las vías que inducen la hipertrofia o aumento en el tamaño de la masa muscular, realizando ejercicios anaeróbicos y/o ejercicios aeróbicos con un alto reclutamiento de unidades motoras.

Una modalidad de entrenamiento que se caracteriza por ser de alta intensidad (>85% VO₂ máx.) y reclutamiento de todas las unidades motoras (I, IIa y IIx) es el High Intensity Interval Training (HIIT), el cual consiste en un número establecido de ejercicios de alta intensidad, cada uno seguido por períodos de recuperación, estos pueden variar entre 5 o 10 segundos a 5 o

10 minutos (Driver, 2013). Cabe destacar que dependiendo de los objetivos del entrenador en el HIIT pueden variar los intervalos, la carga, los tiempos de reposo y actividad (Lopez, J & Vicente, D. 2018).

El HIIT ha demostrado ser tiempo-eficiente en cuanto a cambios en la composición corporal, ya que a diferencia del ejercicio continuo de intensidad moderada, requiere de períodos más cortos de actividad y con menor cantidad de días a la semana para generar cambios, debido al estado de Consumo de Oxígeno Post Ejercicio (EPOC) producido, el cual aumenta el metabolismo basal por la deuda de oxígeno que existe al terminar el entrenamiento y puede durar hasta 48 horas post ejercicio. (Scott, C. et al 2011). Por este motivo el HIIT ha sido estudiado en diversas patologías crónicas, así Kong, Z., et al. 2017, en sujetos sedentarios y con sobrepeso demostraron aumento de la aptitud cardiorrespiratoria posterior a 5 semanas con este tipo de entrenamiento. Rahimi, M. et al 2015, investigaron en ratas el efecto del protocolo HIIT sobre la lesión causada por isquemia / reperfusión (lesión I / R), donde se observó que este protocolo tuvo un efecto cardioprotector. Asimismo, el HIIT también posee mecanismos que influyen de forma positiva en la masa muscular, el primero se genera ya que en la fase III del ejercicio, el sistema neuromuscular muestra su máxima capacidad de activación, generando un reclutamiento de todas las unidades motoras (I, IIa y IIx), la participación progresiva de todas las fibras musculares genera más tensión muscular (más fuerza aplicada). El segundo mecanismo es la hormona del crecimiento (GH) la cual actúa en el

anabolismo proteico y promueve el crecimiento de tejidos esqueléticos y extra esqueléticos. (Laudo, C. et al. 2006). El mayor nivel circulante de GH en el ejercicio se alcanza en períodos intermitentes, es decir, en el trabajo con intervalos; por lo cual, los mayores niveles de esta hormona se verán en el HIIT (López, J. & Campos, V., 2018). Bartlett, J. et al 2012, determinaron que el HIIT induce de forma aguda la aparición de moléculas responsables de la biogénesis mitocondrial en los músculos ejercitados. En la revisión sistemática de Gibala, M. et al 2015, afirmaron que el HIIT a pesar de realizarse con un alto grado de reclutamiento del sistema muscular y tener un volumen bajo (características típicas del entrenamiento anaeróbico), causa la mayoría de las adaptaciones, locales y centrales, esperadas por un entrenamiento de alto volumen, ya que ocupa el metabolismo oxidativo, y tiene la ventaja de mejorar las variables de potencia muscular ayudando en la hipertrofia de las fibras musculares tipo IIa.

Asimismo, hay investigaciones que han demostrado aumentos en la capacidad oxidativa, síntesis proteica muscular y biogénesis mitocondrial como resultado del HIIT (Binns, S. et al. 2014). También se ha evidenciado mejoras post HIIT en la fuerza muscular en adolescentes, según una revisión de la literatura realizada por Abarzúa, J. et al. 2019, en la cual los protocolos fueron ejercicios en cicloergómetro y carreras con distancias de 20 metros, donde se concluyó que todas las investigaciones que evaluaron fuerza muscular mostraron mejoras con el método HIIT, principalmente en fuerza de miembro inferior, que fue medida a través de la potencia peak en

cicloergómetro y saltabilidad. Si bien esta revisión entrega información relevante con respecto a cómo influye el HIIT en la fuerza muscular en adolescentes, aún falta evidenciar los efectos en población adulta.

Por el contrario, Clark, A. et al. 2019 estudiaron en 17 mujeres adultas obesas, el efecto del HIIT en la fuerza muscular de los extensores y flexores de rodilla, determinando que este no modificó la fuerza muscular en mujeres obesas.

Existe una modalidad que combina el trabajo de fuerza con ejercicio aeróbico, dentro de un mismo día o en sesiones separadas, denominado entrenamiento concurrente (García-Manso, J. et al. 2017). De esta forma, se pueden obtener beneficios a nivel aeróbico y anaeróbico, sin embargo, hay información limitada respecto a la interferencia que existe al combinar HIIT y fuerza. (Silva, R. et al. 2012). Hay controversia en cuanto a este tipo de entrenamiento, ya que se ha demostrado que atenúa las mejoras inducidas por el entrenamiento en la fuerza máxima, la potencia y la hipertrofia del músculo esquelético en la mayoría de estudios, sin embargo existen otras investigaciones que demuestran lo contrario, lo cual se atribuye a las variaciones entre las investigaciones en la prescripción del ejercicio (Fyfe, J. et al. 2016).

Si bien el HIIT puede inducir cambios en la masa y fuerza muscular en adultos, dado el reclutamiento de las fibras tipo IIx, aún existe evidencia controversial con respecto a los resultados; por lo cual no se podría establecer una conclusión en cuanto a los efectos de este. Sumado a lo

anterior, las revisiones existentes han sido abordadas sólo en poblaciones adolescentes y no enfocadas en adultos. Por lo tanto, es importante analizar la evidencia científica de los últimos 5 años, en los que se han estudiado los efectos que genera en adultos este entrenamiento, sobre la masa y fuerza muscular, y a partir de ello determinar los cambios moleculares.

Pregunta de investigación:

¿Cuáles son los efectos del HIIT sobre la masa muscular en adultos a partir de la evidencia científica de los últimos 5 años?

Objetivo general:

Determinar los efectos del HIIT sobre la masa muscular en adultos, a partir de la evidencia científica en los últimos 5 años.

Objetivos específicos:

- Describir los cambios moleculares en la masa muscular producidos por el HIIT en adultos a partir de evidencia científica de los últimos 5 años.
- Describir la fuerza muscular posterior a HIIT en adultos a partir de evidencia científica de los últimos 5 años.
- Describir los efectos del ejercicio concurrente en adultos a partir de evidencia científica de los últimos 5 años.

METODOLOGÍA

La revisión de la literatura sobre el HIIT incluyó ensayos clínicos aleatorizados. Se llevó a cabo una búsqueda de estudios originales en las siguientes bases de datos: Pubmed, Scielo, Web of Science, Scopus y Cochrane Library. Dos investigadores realizaron una búsqueda con los términos para confirmar el número de estudios y un tercer investigador corroboró esta cifra. Como estrategia de búsqueda fueron utilizadas las siguientes palabras claves y combinaciones “High IntensityInterval Training” [MeSh] OR “High-IntensityInterval Training” OR “High IntensityInterval Training” OR “High-IntensityInterval Trainings” OR “Interval Training, High-Intensity” OR “Interval Trainings, High-Intensity” OR “Training, High-IntensityInterval” OR “Trainings, High-IntensityInterval” OR “High-IntensityIntermittentExercise” OR “Exercise, High-IntensityIntermittent” OR “Exercises, High-IntensityIntermittent” OR “High-IntensityIntermittentExercises” OR “Sprint Interval Training” OR “Sprint Interval Trainings” OR “Interval training” OR “Intervalexercise”AND “Muscle” [MeSh] OR “MuscleTissue” OR “MuscleTissues” OR “Tissue, Muscle” OR “Tissues, Muscle” OR “MuscleMass” AND “Concurrentexercise” [MeSh] OR “Concurrentexercise HIIT” OR “HIIT” AND “Strength” OR “High IntensityInterval Training” AND “Strength”. La evidencia científica utilizada fue publicada entre el año 2015 y 2020. Fue limitada ´por idioma español e

inglés. La recopilación de información fue realizada entre el 21 de abril y 28 de mayo del 2020, se encontraron 625 artículos científicos, los cuales fueron: 518 ECA, 75 revisiones, 16 metaanálisis, 14 revisiones sistemáticas, 1 reporte de caso y 1 artículo de reflexión. Además, se detectaron 71 duplicados entre la base de datos Pubmed, Cochrane Library y Scielo.

Criterios de inclusión:

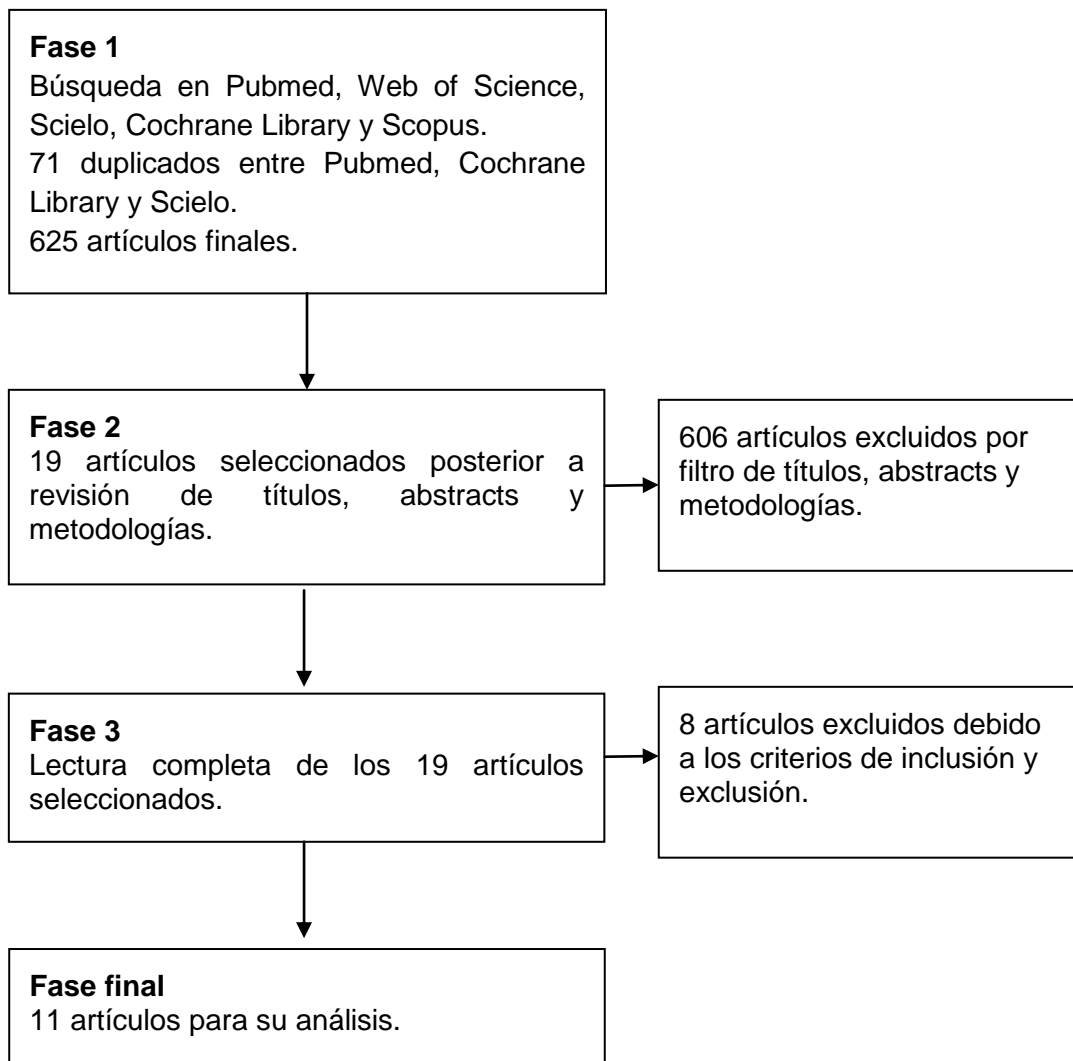
- Ensayos clínicos aleatorizados.
- Estudios cuyo entrenamiento principal fuese el HIIT.
- Estudios en los cuales participaron adultos y adultos jóvenes de edad entre 18 y 50 años.
- Estudios que evaluaban la fuerza, masa muscular y/o mecanismo moleculares implicados en síntesis de proteína y/o biogénesis mitocondrial.
- Población sin patologías crónicas.

Criterios de exclusión:

- Estudios que incluyeran suplementos alimenticios durante su intervención o metodología.

Los artículos fueron filtrados aplicando los criterios de inclusión y exclusión leyendo el título, abstract y metodología, y 19 cumplieron con los criterios. (Ver flujograma N°1).

Flujograma N°1: Selección de información



RESULTADOS

1. Cambios moleculares en la masa muscular por el HIIT

Tabla 1: Cambios moleculares post entrenamiento HIIT en sujetos sanos

Autores	Población	Intervención	Resultados
Vincent, G. et al. 2015	8 participantes hombres, moderadamente activos.	Ciclismo de una pierna (la otra sujeta a una plataforma), con intervalos de 12x1 minuto a 120% de la potencia máxima, 90 segundos de recuperación, 4 días por semana, un total de 2 semanas.	↑ Citrato sintasa, CYT-C y OXPHOS
Dohlmann, T. et al. 2018	12 participantes sedentarios sanos, 5 hombres y 7 mujeres.	18 sesiones de HIIT durante 6 semanas, 7 series de ejercicio de alta intensidad de 1 minuto, intercalada con descanso de 1 minuto. la intensidad del entrenamiento se fue incrementando gradualmente.	↑ Citrato sintasa
Hinkley, J. et al. 2017	10 participantes recreativamente activos, 8 hombres y 2 mujeres.	Ciclismo entre el 70-100% del VO ₂ max. Durante 12 días.	↑ PGC-1α, ARNm MURF-1, 4EBP1. ↓ ARNm miostatina
Casuso, R. et al. 2017	9 nadadores hombres entrenados.	2 protocolos de entrenamiento en días aleatorios separados: - Uno de alto volumen y alta intensidad - Intervalo de Sprint	↑ PGC-1α y COX-1 en el protocolo de alto volumen y alta intensidad
Trewin, A. et al. 2018	8 participantes 6 hombres y 2 mujeres sanos	3 protocolos: - Ejercicio continuo de intensidad moderada	↑ ARNm PGC-1α en todos los protocolos

	recreativamente activos.	50% de la PPO durante 30 minutos. - Ejercicio en intervalos de alta intensidad (intervalos de 5x4 minutos al 75% de PPO, recuperación de 1 minuto. -Ejercicio de velocidad, 4x30s con intervalos de recuperación pasiva de 4,5 minutos.	
Castro, A. et al. 2019	80 hombres adultos jóvenes, sedentarios y sanos.	Grupo entrenamiento aeróbico continuo, grupo HIIT y grupo control. Intensidad FCR de 70-75% para ET y 90% HIIT. Sesión de 40 minutos, durante 8 semanas	↑ Creatina sérica en el entrenamiento HIIT.

***PPO: Potencia de salida máxima.*

La tabla N°1 muestra los resultados de estudios, en los cuales se aprecia un aumento de los marcadores de biogénesis mitocondrial (PGC-1 α y citrato sintasa) y un incremento significativo post entrenamiento HIIT de marcadores de síntesis de proteínas (Akt/PKB-mTOR, 4EPB1, ARNm de miostatina y ARNm de MURF-1). Además, en relación a la respiración celular mitocondrial aumentó CYT-C y OXPHOS posterior a la realización de un entrenamiento de alta intensidad. Sin embargo, en relación a los marcadores inflamatorios como NFKB no se apreciaron cambios.

2. Cambios en la masa muscular por HIIT en sujetos obesos y sobrepeso

Tabla 2: Efectos del HIIT sobre la masa muscular en adultos obesos y sobrepeso.

Autores	Población	Intervención	Resultados
Clark, A. et al. 2019	17 mujeres con sobrepeso.	HIIT TRAD y PER de 6 semanas, 3 sesiones por semana. TRAD n° intervalos, duración de intervalos, duración de descanso, calentamiento siempre fueron constante entre semanas, menos la intensidad que varió entre 70-85% de la PPO. En PER todas las variables fueron variando cada semana y la intensidad fue entre 60-110% de la PPO.	↑ % masa libre de grasa y masa absoluta libre de grasa en el grupo HIIT TRAD.
Blue, MNM. et al. 2018	44 participantes con sobrepeso u obesidad, hombres y mujeres.	3 grupos, HIIT de relación trabajo/descanso 1: 1 (SIT) de 5 intervalos al 90% de la PPO, otro relación trabajo/descanso 2: 1 (LIT) de 10 intervalos entre 80-100% de la PPO y grupo control. 3 veces por semana durante 3 semanas.	↑ en el área de sección transversal en el grupo que realiza SIT

***TRAD: Tradicional; PER: Periodizado; SIT: Intervalos de corta duración; LIT: Intervalos de larga duración.*

De acuerdo con la tabla N°2, a partir de los resultados se puede apreciar que luego de un HIIT tradicional hay un aumento significativo de masa muscular. Por otro lado, respecto al área de sección transversal del músculo recto femoral, existe un aumento significativo, pero sólo cuando se realiza SIT.

3. HIIT en la fuerza muscular

Tabla 3: Fuerza muscular posterior a regímenes de entrenamiento de alta intensidad.

Autores	Población	Intervención	Resultados
Han, S. et al. 2016	13 estudiantes universitarios hombres sanos.	Realizaron 6 sprints en 40 min. con un intervalo de descanso de 60s entre sprints por 6 semanas al 85% de la frecuencia cardíaca máxima. La potencia anaeróbica se evaluó con la producción de potencia media en una prueba de ciclismo de velocidad repetida de 3 s en cicloergómetro estacionario. La fuerza se evaluó con una MVIC en un dinamómetro.	↑ Fuerza muscular de extensores de rodilla
Clark, A. et al. 2019	17 mujeres adultas, sedentarias y obesas.	Grupo entrenamiento TRAD y PER de 6 semanas, 3 sesiones por semana entre el 80-95% de la PPO en TRAD y entre el 60-110% en PER. La fuerza se evaluó mediante un dinamómetro isocinético con el gesto de flexión y extensión máxima de rodilla.	No hubieron cambios en ningún grupo pre y post entrenamiento

***MVIC: Contracción isométrica voluntaria máxima.*

En la tabla N° 4, se observa que en estudios de sujetos sanos, de Han, S. et al, 2016, la potencia anaeróbica y el momento del cuádriceps aumentaron significativamente. Por otro lado, Clark, A. et al. 2019 en mujeres obesas, no hubo cambios en la fuerza muscular.

4. Efectos del ejercicio concurrente en masa muscular:

Tabla 4: Efectos del ejercicio concurrente en la masa muscular.

Autores	Población	Intervención	Resultados
Pugh, J. et al. 2015	10 participantes hombres sanos sedentarios.	<p>El grupo de 10 participantes realizó 2 protocolos diferentes, con un descanso de 7-25 días entre cada uno.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrenamiento de fuerza y HIIT: Extensión de rodillas (4x8) al 70% de 1RM) y HIIT en cicloergómetro (10x1min) al 90% de la FC máx. - Entrenamiento de fuerza: Extensión de rodillas (4x8) al 70% de 1RM. 	<p>↑ PGC-1α, PGC-1α-ex1a, mTORC1 y MURF-1 en entrenamiento fuerza + HIIT.</p> <p>↓ Atrogin-1 y FOXO3A en entrenamiento fuerza + HIIT.</p>
Fyfe, J. et al. 2016	23 participantes hombres sanos y moderadamente activos.	<p>3 grupos realizaron 1 protocolo diferente de 8 semanas con 3 sesiones por semana, con variación en tiempo e intensidad cada semana:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrenamiento de fuerza (RT): Extensión y flexión de rodillas, al 65-90% de 1 RM. - RT (ídem al anterior) y HIIT (5-10 intervalos, intensidad de 120-150% LT). - RT (ídem al anterior) y MICT (15-33 min., intensidad 80 - 100% LT). 	<p>↑ 1RM de prensa de piernas en grupo RT.</p> <p>↑ fuerza máxima, potencia máxima, velocidad máxima y tasa de desarrollo de fuerza en salto contramovimiento en grupo RT.</p> <p>↑ la masa libre de grasa de miembro inferior de manera similar en RT y MICT+RT.</p>

***MICT: Entrenamiento continuo de moderada intensidad; LT: Umbral láctico.*

La tabla N°3, muestra en el estudio de Pugh, J. et al. 2015 aumento significativo en la expresión de mTORC1, PGC-1 α y MURF-1 y disminución

en atrogin-1 y FOXO3A en el protocolo HIIT + fuerza. Por su parte Fyfe, J. et al. 2016, presentaron cambios significativos en el rendimiento de salto contramovimiento, fuerza máxima y masa magra de miembro inferior en el grupo que entrenó fuerza.

DISCUSIÓN

1. Cambios moleculares en la masa muscular en el HIIT:

1.1. Biogénesis mitocondrial:

PGC-1 α proteína presente en el núcleo de la mitocondria, cumple un rol fundamental en la biogénesis mitocondrial, es decir, en la creación de nuevas mitocondrias. Hinkley, J. et al. 2017, analizaron 10 sujetos recreativamente activos, los cuales fueron evaluados pre y post protocolo de ciclismo entre el 70-100% VO₂max durante 12 días, donde los resultados arrojaron un aumento significativo de PGC-1 α . Por otra parte, 9 nadadores bien entrenados fueron estudiados por Casuso, R. et al. 2017 con 2 protocolos de entrenamiento distintos, uno de alta intensidad y alto volumen que consistió en realizar 10 series de 200 m intercaladas por 40 s durante las cuales se les pidió que mantuvieran una velocidad de nado promedio más alta durante los 2000 m. totales, el protocolo sprint consistió en 10 series de 50 m de esfuerzo máximo cada 4 minutos. Estos se realizaron en días aleatorios separados, evidenciando por medio de biopsia muscular un aumento significativo de PGC-1 α en el protocolo de alto volumen y alta intensidad. Trewin, A. et al. 2018, estudió 3 protocolos distintos en 8 sujetos sanos recreativamente activos: ejercicio continuo de intensidad moderada, HIIT y ejercicio de velocidad, realizaron todos los protocolos con una diferencia de 7 días entre cada uno, siendo evaluados pre entrenamiento,

post entrenamiento y posterior a las 3 horas, en este último se evidenció un aumento del ARNm de PGC-1 α en todos los protocolos. Por lo tanto, dada la evidencia se podría determinar que el ejercicio de alta intensidad generaría cambios positivos a nivel de PGC-1 α en sujetos sanos activos y en nadadores, incluso en protocolos con bajo número de sesiones, sin embargo, la cantidad de participantes fue baja.

Por otra parte, la citrato sintasa (CS), enzima cuya actividad principal es en el ciclo de Krebs y por tanto, relacionada al contenido mitocondrial. Así pues, fue estudiada por Vicent, G. et al. 2015, donde posterior a un entrenamiento a 8 hombres que realizaron ciclismo de una sola pierna (la otra pierna se encontraba sujeta a una plataforma), con intervalos de 12 x 1 minuto a 120% de potencia máxima, 90 segundos de recuperación, durante 4 días a la semana por 2 semanas, observaron un aumento en el contenido de CS, citocromo C y OXPHOS, presentes en la respiración celular mitocondrial, es importante considerar la metodología de este estudio, la cual incluyó el gesto motor de pedaleo en una pierna, que podría influir en los resultados obtenidos. De igual forma, Dohlmann, T. et al. 2018, estudiaron a hombres y mujeres, entrenados a 18 sesiones de HIIT en cicloergómetro por 6 semanas, con intervalos de 7 x 1 minuto al 100% del VO₂max, también encontraron un aumento de CS. Por lo tanto, el entrenamiento de alta intensidad desde 8 semanas podría aumentar las cantidades de la enzima CS, además, su incremento es semejante al de PGC-1 α , tanto en ejercicios

aislados como en programas de varias semanas de entrenamiento y parece ser un cuantificador relevante del volumen mitocondrial.

1.2. Síntesis de proteínas:

Hinkley, J. et al. 2017 concluyeron que en un protocolo de ciclismo intenso de 12 días al 70-100% Vo₂max, en 10 sujetos adultos jóvenes activos recreacionalmente, produjeron un aumento de la proteína 4EBP1, marcador para la señalización de Akt/PKB-mTOR y una disminución del ARNm de miostatina, regulador negativo de la síntesis de proteínas. Además, posterior al entrenamiento también observaron un aumento del ARNm de MURF-1, lo cual es producido por las contracciones musculares repetidas en el entrenamiento HIIT que estresan el medio generando daño en las proteínas, esto desencadena la activación de marcadores citoprotectores, como MURF-1 con el fin de degradar las proteínas dañadas y así mantener un entorno celular limpio y que sea capaz de resistir el estrés inducido por ejercicio.

Respecto a la creatina sérica, un compuesto orgánico nitrogenado que participa en el metabolismo energético celular localizado en el músculo, Castro, A. et al. 2019 analizaron a 80 hombres adultos jóvenes, los cuales fueron distribuidos al azar en un grupo de entrenamiento aeróbico continuo, un grupo HIIT y otro grupo control, por un periodo de 8 semanas, en definitiva, en el grupo HIIT observaron un aumento de esta. Es posible que el incremento de las cantidades de creatina sérica, se deba a su rol energético en el músculo esquelético, y de esta forma suple las demandas que se

requieren en un entrenamiento HIIT. Cabe mencionar, que aún existe poca evidencia respecto a esto, ya que la mayoría de los estudios analizan la creatina sérica como suplemento alimenticio.

2. Cambios en la masa muscular por HIIT:

En cuanto a los cambios en la masa muscular generados por el HIIT, Clark, A. et al. 2019 realizaron una investigación en mujeres con sobrepeso que consistió en un entrenamiento HIIT de 6 semanas, 3 veces por semana; el cual se dividió en 2 tipos de entrenamientos: HIIT TRAD, que tenía una duración de entrenamiento de 25 min., 10 intervalos de 60 seg. y una intensidad de 70-85% de la PPO y el HIIT PER, que variaba cada día la duración del entrenamiento entre 19 a 25 min., número de intervalos entre 6 a 10, duración de intervalos de 60 a 120 seg. y la intensidad de 60 a 110% de la PPO. En los resultados se evidenció un aumento significativo en el % de masa magra en los músculos extensores y flexores de rodilla en el grupo que realizó el entrenamiento TRAD, lo cual podría estar dado, ya que mantuvo siempre el mismo tiempo, número de intervalos e intensidad, en comparación con el grupo de HIIT PER que alternaba estas variables en cada sesión.

Por otro lado, respecto al área de sección transversal Blue, M. et al, 2018 realizaron un estudio en 44 sujetos con sobrepeso, los cuales se dividieron en 3 grupos: control, LIT y SIT, estos grupos realizaron un entrenamiento

durante 3 semanas, cumpliendo 3 sesiones por semana. En el grupo LIT realizaban una cantidad reducida de intervalos, pero de larga duración, por el contrario en el SIT realizaban una mayor cantidad de intervalos, pero de corta duración. El grupo LIT siempre se mantuvo trabajando en la misma intensidad, mientras que el SIT varió. Los cambios significativos en el área de sección transversal se observaron en el grupo SIT comparado con el grupo control. Además el grupo SIT tuvo mejores resultados que el LIT, lo que podría estar determinado por la diferencia en la cantidad de intervalos e intensidad dada por la PPO, ya que el grupo SIT realizó 10 intervalos de 1 min al 90% de la PPO y el grupo LIT realizó 5 intervalos de 2 min a intensidades que variaron entre 80 y 100% de la PPO. Por lo tanto, la cantidad de intervalos e intensidad podrían ser variables determinantes en el aumento del área de sección transversal del músculo vasto lateral en hombres y mujeres con sobrepeso.

3. HIIT y fuerza muscular

Respecto al efecto del HIIT en la fuerza muscular, Han, S. et al. 2016 realizaron un entrenamiento de intervalos de sprint unidireccional a 13 estudiantes universitarios hombres sanos no entrenados, el protocolo consistió en 6 sprints de 40 m., con un intervalo de 60 seg. entre sprints, el entrenamiento fue realizado durante 6 semanas, adicionando un sprint cada semana. La potencia anaeróbica se evaluó mediante la medición de la producción de potencia media durante una prueba de ciclismo de velocidad repetida de 3 seg., en un cicloergómetro estacionario y para evaluar la

fuerza los sujetos realizaron una MVIC en un dinamómetro, donde los resultados sugirieron que el momento del cuádriceps mejoró a la 4ta semana, manteniéndose los resultados hasta el final del estudio, y la potencia anaeróbica aumentó significativamente. Por lo tanto, un protocolo de HIIT en adultos sanos podría ser un buen entrenamiento para generar aumento en la fuerza muscular, debido a que al estar en la fase III del ejercicio se genera reclutamiento de todas las fibras y unidades motoras, destacando las fibras tipo IIx, las cuales son fibras musculares de gran tamaño, que desarrollan mayor fuerza en periodos cortos de tiempo y emplean un metabolismo anaeróbico.

Por otra parte, Clark, A. et al. 2019 al estudiar los protocolos de TRAD y PER de 6 semanas, 3 sesiones por semana, donde en TRAD las variables fueron constantes entre semanas, a excepción de la intensidad que varió entre 70-85% de la PPO. En PER todas las variables fueron cambiando cada semana y la intensidad fue entre 60-110% de la PPO. La fuerza se evaluó mediante un dinamómetro isocinético con el gesto de flexión y extensión máxima de rodilla. En los resultados no hubo cambios en la fuerza muscular de flexo-extensores de rodilla en ninguno de los dos protocolos, es por esto, que la condición de obesidad en mujeres podría ser un factor que altere la ganancia de fuerza.

4. Cambios en la masa muscular por ejercicio concurrente:

En el trabajo de Pugh, J. et al. 2015 examinaron la influencia de una sesión de HIIT sobre las respuestas moleculares agudas al ejercicio de fuerza en

sujetos no entrenado, en este estudio participaron 10 hombres sedentarios quienes realizaron dos protocolos de entrenamiento distintos, en la primera sesión ejercicio de fuerza, 4 series de 8 repeticiones de extensión de rodillas al 70% de 1RM y HIIT con 10 intervalos de 1 minuto al 90% de la FC máxima. Después de 7 días de descanso, los sujetos entrenaron solo ejercicio de fuerza con la misma intensidad que en la primera sesión. Se obtuvieron muestras del músculo vasto lateral por biopsia antes, 2 y 6 horas posterior al entrenamiento para determinar la fosforilación de proteínas y ARNm de mTORC1, PGC-1 α , PGC-1 α -ex1b, PGC-1 α -ex1a, miostatina, MurF-1, atrogin-1, FOXO3A, IGF-1, MGF, MyoD1 y MyoG. El resultado fue un aumento en la expresión de PGC-1 α , PGC-1 α -ex1a, mTORC1, por lo que la combinación de HIIT y fuerza podrían inducir a un aumento en la biogénesis mitocondrial y síntesis de proteínas. Con respecto a los marcadores de proteólisis atrogin-1 y FOXO3A hubo una disminución en su expresión. De acuerdo a los cambios en los niveles de las proteínas, se podría establecer que no hubo interferencia aguda en los procesos de señalización proteica al realizar fuerza y HIIT en una misma sesión en población sedentaria, no obstante esta ausencia de interferencia en este estudio es de forma aguda, ya que el análisis molecular fue al finalizar cada sesión de entrenamiento, por tanto sería de importancia investigar si estos cambios también se podrían observar a largo plazo.

Por otro lado, en el estudio de Fyfe, J. et al. 2016 participaron 23 sujetos físicamente activos de 30 años de edad por un período de 8 semanas, 3 veces por semana, donde se determinó el efecto del ejercicio concurrente utilizando entrenamiento RT, HIIT+RT y MICT+RT, en los cuales se evaluó la masa magra y porcentaje de grasa corporal de miembro superior e inferior, los cambios de la fuerza máxima en la prensa de piernas y de banca; y por último en el salto contramovimiento se estimó la fuerza máxima, potencia máxima, velocidad máxima, desplazamiento máximo y tasa de desarrollo de fuerza. En los resultados, se evidenció una mejora de 1RM en prensa de piernas en el grupo RT con un 38,5%, versus HIIT+RT con un 28,7% y MICT+RT con un 27,5%. Cabe mencionar que a pesar de que el aumento en la fuerza máxima fue mayor en el grupo RT, en los 3 protocolos hubo cambios significativos. Respecto al press de banca no hubo diferencias significativas en los 3 grupos, y en el salto contramovimiento RT indujo mayores ganancias en todas las variables, a excepción del desplazamiento máximo. Los datos de esta investigación podrían sugerir que el entrenamiento aeróbico continuo o interválico, interfiere en el aumento de la fuerza muscular, rendimiento del salto contramovimiento y mejoras en la composición corporal en comparación con el entrenamiento de fuerza aislado, sin embargo cabe mencionar que el HIIT y MICT se realizaron minutos antes de la sesión de fuerza, por lo que al efectuar el protocolo RT, los participantes ya estaban con una carga de fatiga en el caso del HIIT. En relación a la composición corporal, hubo cambios significativos en la masa magra de miembro inferior en el grupo RT, no obstante en la masa magra de

miembro superior no hubo cambios significativos en ningún grupo. Respecto a la masa magra total, RT y MICT+RT no tuvieron diferencias sustanciales, sin embargo HIIT+RT obtuvo una disminución significativa, esto se puede deber a la carga de entrenamiento interno total, lo cual se refiere a la percepción de fatiga de MMII y sensación de falta de aire que tuvieron los participantes del entrenamiento, medido a través de la escala de Borg. Esta carga de entrenamiento interno fue mayor en HIIT+RT, en comparación a MICT+RT, por lo que se infiere que los sujetos al estar con mayor fatiga de miembro inferior y disnea pudieron tener más dificultades para mantener y/o generar masa muscular.

En consecuencia, en el estudio mencionado anteriormente existió interferencia al realizar HIIT en conjunto con fuerza, a diferencias de lo mostrado por Pugh, J. et al. 2015 no hubo interferencia, al ser realizado en sujetos sedentarios y enfocarse en los cambios moleculares en la respuesta aguda, es decir, al finalizar cada sesión. Fyfe, J. et al. 2016 dirigieron su objetivo a lo funcional, el entrenamiento fue de 8 semanas en población activa, y las respuestas tanto de fuerza y composición corporal no fueron agudas, por lo que se podría concluir que en sujetos activos ocurre una interferencia al realizar HIIT y fuerza en el mismo día, lo cual podría estar dado a que son sujetos entrenados, a la carga interna de entrenamiento total y a que se realizaba HIIT minutos antes del entrenamiento de fuerza.

Dentro de las limitaciones de la revisión, se destaca que el HIIT demostró en varios estudios ser un entrenamiento que aumenta la biogénesis mitocondrial, síntesis de proteínas, masa muscular y fuerza, sin embargo existe escasa literatura y la metodología de estos contemplaba una muestra pequeña , protocolos y evaluaciones distintas. Debido a esto, es necesario realizar más investigaciones para poder llegar a conclusiones respecto a los efectos al realizar un entrenamiento HIIT.

CONCLUSIÓN

Diferentes protocolos de entrenamiento HIIT en adultos generarían cambios moleculares a través de la activación de rutas que potencian la biogénesis mitocondrial y síntesis de proteínas.

Además, se evidenció que en la masa muscular hubo cambios positivos, pero esto dependería del volumen de cada entrenamiento y la cantidad de sesiones realizadas por los sujetos.

Sumado a lo anterior, en la fuerza muscular hubo un aumento, sin embargo, esto se logró evidenciar en población sana, ya que en mujeres obesas no existió cambio. Si bien, esta es información relevante, es importante considerar que se evidenció en un estudio respectivamente.

En el ejercicio concurrente, se pueden evidenciar cambios favorables sólo a corto plazo, y aún existe controversia sobre si el HIIT genera interferencia al combinarse con entrenamiento de fuerza.

Es importante mencionar que, no se encontró un protocolo de HIIT específico para generar cambios en las variables estudiadas, ya que los estudios analizados en esta revisión fueron protocolos diferentes en cuanto a intensidad, volumen, duración de intervalos y además se realizaron en una baja cantidad de participantes. Por lo tanto, es necesario realizar nuevos estudios que relacionen los efectos del HIIT en la masa muscular con un

protocolo predeterminado en diferentes poblaciones y con un número mayor de participantes, con el fin de extrapolar estos resultados.

La contribución a la kinesiología de esta revisión es aportar información sobre el HIIT en la masa muscular y la fuerza, permitiendo entender los mecanismos fisiológicos que ocurren a nivel muscular frente a este protocolo; y de esta forma conocer si podría ser una manera directa de inducir cambios en la musculatura de los pacientes sedentarios y/o sobrepeso que tienen mayor tendencia de generar atrofia muscular, debido a que sus condiciones favorecen la degradación de proteínas. Además, el HIIT mejora la biogénesis mitocondrial, beneficiosa en la prevención y tratamiento de enfermedades metabólicas y cardiovasculares.

Finalmente, es de gran relevancia conocer que es un ejercicio tiempo eficiente, ya que genera efectos positivos en la capacidad aeróbica y masa muscular en cortos períodos de tiempo, siendo esto último para la población un punto importante y motivacional que haría más fácil la promoción de un estilo de vida activo y saludable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abarzúa et al. (2019). Efectividad de ejercicio físico intervalado de alta intensidad en las mejoras del fitness cardiovascular, muscular y composición corporal en adolescentes: una revisión. *Revista Médica de Chile*, 147. 221-230
2. Abreu, P. et al (2016). Effects of endurance training on reduction of plasma glucose during high intensity constant and incremental speed tests in Wistar rats. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 49(11).
3. Bartlett, J. et al. (2012). Matched work high-intensity interval and continuous running induce similar increases in PGC-1 mRNA, AMPK, p38, and p53 phosphorylation in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 112(7).
4. Binns S. et al (2014). Greater muscle protein synthesis and mitochondrial biogenesis in males compared with females during sprint interval training. *FASEB J*, 28(6). 2705–2714.
5. Blue, M. et al. (2018). The effects of high intensity interval training on muscle size and quality in overweight and obese adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(2). 207- 212.
6. Burkholder, T. (2007). Mechanotransduction in skeletal muscle. *Frontiers in bioscience : a journal and virtual library*, 12, 174–191.
7. Castro, A. et al. (2019). Association of skeletal muscle and serum metabolites with maximum power output gains in response to continuous endurance or high-intensity interval training programs: The TIMES study – A randomized controlled trial. *Journal PLoS One*, 14 (2).
8. Casuso, R., et al. (2017). High-intensity high-volume swimming induces more robust signaling through PGC-1 α and AMPK activation than sprint interval swimming in m. triceps brachii. *Journal PLoS One*, 12 (10).
9. Clark, A. et al. (2019). Effects of various interval training regimes on changes in maximal oxygen uptake, body composition, and muscular

- strength in sedentary women with obesity. *European Journal Of Applied Physiology*, 119 (4).
10. Cristi-Montero, C. (2016) Consideraciones respecto al sedentarismo e inactividad física. *Elsevier Atención Primaria*, 48 (5). 341.
 11. Costigan, et al. (2015). High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis. *British Journal Of Sports Medicine*, 49 (19).
 12. Díaz- Chinguer, D. et al. (2015). Mecanotransducción: Como la célula percibe los estímulos. *Revista Tamé*, 4 (11). 396-401.
 13. Dohlman, T., et al. (2018). High-intensity interval training changes mitochondrial respiratory capacity differently in adipose tissue and skeletal muscle. *Physiological Reports*, 6 (18).
 14. Fyfe, J. J., Bartlett, J. D., Hanson, E. D., Stepto, N. K., & Bishop, D. J. (2016). Endurance Training Intensity Does Not Mediate Interference to Maximal Lower-Body Strength Gain during Short-Term Concurrent Training. *Frontiers in physiology*, 7 (487).
 15. Fry A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(10). 663–679.
 16. García-Manso, J. et al. (2017). Efectos de un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia sobre carreras de media distancia, *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 12(36). 221-227.
 17. Gibala, M. et al. (2016). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*.
 18. Gillen et al. (2013). Interval training in the fed or fasted state improves body composition and muscle oxidative capacity in overweight women. *Silver Spring Md.*, 21(11).
 19. Gutiérrez, F. (2010) Conceptos y clasificación de las capacidades físicas. *Revista de investigación cuerpo, cultura y movimiento*, 1(1). 77-86.
 20. Han, S., et al. (2017). A 6-week Sprint Interval Training Program Changes Anaerobic Power, Quadriceps Moment, and Subcutaneous Tissue Thickness. *International Journal of Sports Medicine*, 38(2). 105-110.
 21. Hinkley, J., et al. (2016). Short-term intense exercise training reduces stress markers and alters the transcriptional response to exercise in

- skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 312 (3). 426-433.
22. Kong, Z., et al. (2017). High-intensity interval training in normobaric hypoxia improves cardiorespiratory fitness in overweight chinese young women. *Journal Frontiers in Physiology*, 8 (175).
 23. Laudo, C., Puigdevall, V., Del río, M. y Velasco, A. (2006). Hormonas utilizadas como agentes ergogénicos: situación actual del problema. *An. Sist. Sanit. Navar*, 29 (2). 207-218.
 24. López Chicharro, J.; Campos, D. (2018). HIIT entrenamiento interválico de alta intensidad. Madrid.
 25. Pugh, J. K., Faulkner, S. H., Jackson, A. P., King, J. A., & Nimmo, M. A. (2015). Acute molecular responses to concurrent resistance and high-intensity interval exercise in untrained skeletal muscle. *Physiological reports*, 3(4).
 26. Rahimim, M. et al. (2015). The effect of high intensity interval training on cardioprotection against ischemia-reperfusion injury in wistar-rats. *Revista EXCLI Journal*, 14. 37-246.
 27. Rodríguez García, P. L. (2007). Fuerza, su clasificación y pruebas de valoración. *Revista de la Facultad de Educación*, 2 (10).
 28. Rudrappa, S. et al. (2016). Human Skeletal Muscle Disuse Atrophy: Effects on Muscle Protein Synthesis, Breakdown, and Insulin Resistance - A Qualitative Review. *Journal Frontiers in Physiology*, 7(361).
 29. Sandri M. (2008). Signaling in muscle atrophy and hypertrophy. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 23. 160–170.
 30. Scott, C. et al. (2011). Aerobic, anaerobic, and excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-set of bench press to muscular fatigue. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25.
 31. Schoenfeld B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of strength and conditioning research*, 24(10). 2857–2872.
 32. Trewin, A., et al. (2018). Acute HIIE elicit similar changes in human skeletal muscle mitochondrial H₂O₂ release, respiration, and cell signaling as endurance exercise even with less work. *American Journal of Physiology*, 315 (5).

33. Urso, M. (2009). Disuse atrophy of human skeletal muscle: cell signaling and potential interventions. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(10).
34. Vicent, G., et al. (2015). Changes in mitochondrial function and mitochondria associated protein expression in response to 2-weeks of high intensity interval training. *Journal Frontiers in Physiology*, 6 (51).
35. World Health Organization. Global Health Risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva: WHO; 2009. Disponible en: http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf Acceso el 12 de junio del 2020.
36. Zhu, S., et al. (2019). Aging and obesity related peri-muscular adipose tissue accelerates muscle atrophy. *Journal PLoS One*, 14 (8).