



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Efectos de la frecuencia de entrenamiento en  
circuito de alta intensidad sobre la fuerza  
isocinética y la composición corporal en sujetos  
no entrenados

Autor:

D. Antonio Joaquín Carrasco Martínez

Director:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Murcia, 27 de Octubre de 2017





**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Efectos de la frecuencia de entrenamiento en  
circuito de alta intensidad sobre la fuerza  
isocinética y la composición corporal en sujetos  
no entrenados

Autor:

D. Antonio Joaquín Carrasco Martínez

Director:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Murcia, 27 de Octubre de 2017





**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

**AUTORIZACIÓN DE LO/S DIRECTOR/ES DE LA TESIS  
PARA SU PRESENTACIÓN**

El Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón, como Director de la Tesis Doctoral titulada "Efectos de la frecuencia de entrenamiento en circuito de alta intensidad sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados" realizada por D. Antonio Joaquín Carrasco Martínez en el Departamento de Ciencias del Deporte, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 27 de Octubre de 2017



## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis supone el final de una etapa, y por ello, me gustaría mostrar mi más sincero agradecimiento en estas primeras líneas a aquellos que de un modo u otro han colaborado en su elaboración.

En primer lugar, me gustaría mostrar mi más sincero agradecimiento a mi director de Tesis Doctoral, el Dr. Pedro Emilio Alcaraz Ramón. Por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha brindado a las mismas. Gracias por su confianza, por apostar siempre por mí y por todo lo que me ha enseñado; por su exigencia, por su consejo y por su amistad.

A Cristian Marín Pagan. Por su amistad y por sus consejos. Gracias por ayudarme siempre que lo he requerido y por mostrarme un campo nuevo para mí. He aprendido mucho de ti y te estaré siempre muy agradecido.

A todos los que han participado en el estudio, y muy especialmente a los monitores y entrenadores que siempre estuvieron ahí cuando se les necesitó.

A mis padres, Joaquín e Isabel. Siempre habéis sabido estar a la altura de las circunstancias. Sin vuestro apoyo a lo largo de todos estos años no hubiera llegado hasta aquí. Gracias por incitarme a estudiar y a seguir esforzándome día a día por las pequeñas y grandes cosas que me motivan y que me hacen ilusión en la vida.

A Irene, mi mujer, gracias por tu apoyo, por tu confianza constante, tu resistencia y tu paciencia. Por las horas de nuestro tiempo juntos que has ofrecido gustosa y resignada a mi causa cuidando y atendiendo a nuestro pequeño Salvador.

A mi hijo Salvador. El hecho de poder verte cada día me da la energía necesaria para seguir adelante. Gracias por existir pequeñín, te quiero con toda mi alma.





“When you make the discovery yourself – even if you are the last person on Earth to see le light – you will never forget it”

Carl Sagan (1934-1996)



## **CONTRIBUCIONES A CONGRESOS**

Carrasco-Martínez, A. J., Marín-Pagán, C., Alcaraz, P. E. (2017). Efectos de un entrenamiento en circuito de alta intensidad modificando la frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados. I Congreso Internacional Qualevitae sobre Calidad de vida y Longevidad. Murcia, España, Julio 2016.

Carrasco-Martínez, A. J., Marín-Pagán, C., Alcaraz, P. E. (2017). Training frequency effects on isokinetic strength applying a High Resistance Circuit Training. IV Congreso Internacional de Prevención de Lesiones Deportivas. Murcia, España, Marzo 2017.

Carrasco-Martínez, A. J., Marín-Pagán, C., Alcaraz, P. E. (2017). Efectos de la frecuencia de entrenamiento en circuito de alta intensidad modificando la frecuencia semanal de entrenamiento. Congreso Nacional Personal Trainer. Madrid, España, Mayo 2017.

## **PUBLICACIONES DE LA TESIS**

La presente tesis doctoral se presenta siguiendo el modelo tradicional. Los datos presentados en esta investigación, han generado un artículo que se encuentra actualmente en revisión en la revista científica CCD.

Carrasco-Martínez, A. J., Marín-Pagán, C., Alcaraz, P. E. (2017). Efectos de la frecuencia de entrenamiento en circuito de alta intensidad sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados.



## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar los efectos de un entrenamiento en circuito de alta intensidad aplicando diferentes frecuencias semanales, sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados. Se llevó a cabo un diseño cuasi experimental con pre y post test utilizando un dinamómetro isocinético y un densitómetro para realizar las mediciones. Un total de 39 participantes, se dividieron atendiendo al nivel de actividad física, composición corporal y sexo en tres grupos de entrenamiento (GE) y un grupo control (GC), entrenando con una frecuencia de 1, 2 o 3 días semanales durante 8 semanas. En relación a la fuerza isocinética, aunque los sujetos pertenecientes a GE1, GE2 y GE3 consiguieron mejoras significativas ( $p < 0,05$ ) en todas las variables analizadas en extensión y flexión de rodilla, no se hallaron diferencias significativas al comparar entre grupos. Relativo a la composición corporal, sólo se hallaron resultados tendentes a la significación en GE1 en la masa muscular con un valor de  $p= 0,06$ . En relación a GC, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables sometidas a medición. El entrenamiento en circuito de alta intensidad propuesto, consigue adaptaciones en la fuerza isocinética en la articulación de la rodilla al entrenar 1 día, 2 días y 3 días a la semana y aumentos en la masa muscular al llevarlo a cabo durante 1 sesión semanal en sujetos no entrenados.

**Palabras clave:** Alta intensidad, composición corporal, entrenamiento de fuerza en circuito, frecuencia, fuerza isocinética.

## ABSTRACT

The main aim of the present study was to analyze the effects of high intensity circuit training by applying different weekly frequencies, on isokinetic strength and body composition in untrained subjects. A quasi experimental design with pre and post test using an isokinetic dynamometer and a densitometer to perform the measurement was carried out. A total of 39 participants were divided according to the level of physical activity, body composition and sex into three training groups (TG) and one control group (CG), training with a frequency of 1, 2 or 3 days a week for 8 weeks. Regarding the isokinetic strength, although the TG1, TG2 and TG3 subjects achieved significant improvements ( $p < 0,05$ ) in all the variables analyzed in extension and knee flexion, no significant differences were found when comparing among training groups. Regarding body composition, results were only found tending to the significance in TG1 in muscle mass variable with a value of  $p= 0,06$ . In relation to CG, no statistically significant differences were observed in any of the variables undergone measurement. The proposed high intensity circuit training achieves an improvement in the isokinetic strength in the knee joint by training 1 day, 2 days and 3 days a week, and increases in muscle mass when carried out during 1 weekly session in untrained subjects.

**Key Words:** High intensity, body composition, strength circuit training, frequency, isokinetic strength.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
ABSTRACT	
ÍNDICE GENERAL	16
SIGLAS Y ABREVIATURAS	19
ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS	23
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	33
CAPÍTULO II: JUSTIFICACIÓN	39
<b>2.1. Introducción</b>	39
<b>2.2. La fuerza</b>	40
2.2.1. Definición y características generales	40
2.2.2. Fuerza y tipos de contracción muscular	41
2.2.3. La fuerza en relación a la movilización de resistencias	44
2.2.4. Fuerza y peso corporal	47
2.2.5. Fuerza y deporte: preparación para la competición	47
<b>2.3. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas</b>	49
2.3.1. Características	49
2.3.2. Factores asociados a la producción de fuerza en protocolos de entrenamiento que utilizan sobrecargas	49
2.3.2.1. Factores estructurales	49
2.3.2.2. Factores neurales	50
2.3.2.3. Factores hormonales	51
2.3.2.3.1. Papel del estrés metabólico en las adaptaciones al entrenamiento	51
2.3.2.3.2. Factor de crecimiento insulínico tipo 1	52
2.3.2.3.3. Testosterona	53
2.3.2.3.4. Hormona de Crecimiento	53
2.3.2.3.5. Cortisol	54
2.3.3. Principales adaptaciones del entrenamiento de fuerza con sobrecargas	54
<b>2.4. El entrenamiento tradicional de fuerza (TS)</b>	58
2.4.1. Características	58
2.4.2. Principales adaptaciones	59
<b>2.5. El entrenamiento de fuerza en circuito tradicional (CT)</b>	59

2.5.1. Características	59
2.5.2. Principales adaptaciones	61
<b>2.6. Limitaciones de los entrenamientos tradicionales de fuerza (TS) y de los entrenamientos de fuerza en circuito (CT)</b>	62
<b>2.7. El entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad (HRC) como alternativa a la aplicación de otros programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas</b>	63
2.7.1. Características de HRC	63
2.7.2. Respuestas agudas	64
2.7.3. Adaptaciones crónicas	64
<b>2.8. La carga</b>	65
2.8.1. Intensidad de la carga	65
2.8.1.1. Respuestas agudas asociadas a la intensidad de la carga	66
2.8.1.2. Respuestas crónicas asociadas a la intensidad de la carga	67
2.8.1.3. Intensidad óptima de la carga	68
2.8.2. Duración del intervalo de descanso	70
2.8.2.1. Influencia del intervalo de descanso en la hipertrofia muscular y en las respuestas hormonales agudas al aplicar programas de fuerza	71
2.8.2.2. Influencia del intervalo de descanso en las adaptaciones crónicas del organismo al aplicar programas de fuerza	71
2.8.3. Importancia del volumen de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza y de la hipertrofia muscular	73
2.8.3.1. Definición y características	73
2.8.3.2. Relevancia del número de series en la planificación de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas	74
2.8.4. Frecuencia de entrenamiento en programas de entrenamiento de fuerza	78
2.8.4.1. Definición y características	78



---

2.8.4.2. Principales frecuencias de entrenamiento utilizadas en programas de fuerza	78
2.8.4.3. Efectos de la frecuencia de entrenamiento sobre la fuerza isocinética y la composición corporal	80
2.8.4.4. Frecuencia de entrenamiento y sobreentrenamiento	85
<b>CAPÍTULO III: HIPÓTESIS</b>	91
<b>CAPÍTULO IV: OBJETIVOS</b>	95
<b>CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODO</b>	99
<b>5.1. Diseño Experimental</b>	99
5.1.1. Variable independiente	101
5.1.2. Variables dependientes	101
5.1.2.1. Composición corporal	101
5.1.2.2. Fuerza isocinética máxima	103
5.1.3. Variables control	104
<b>5.2. Participantes</b>	106
5.2.1. Criterios de inclusión	107
5.2.2. Criterios de exclusión	107
<b>5.3. Protocolo de entrenamiento en circuito de alta intensidad</b>	108
5.3.1. Calentamiento	109
5.3.2. Entrenamiento	110
5.3.3. Periodización	111
<b>5.4. Análisis estadístico</b>	119
<b>CAPÍTULO VI: RESULTADOS</b>	123
<b>6.1. Fuerza isocinética máxima</b>	123
<b>6.2. Composición corporal</b>	128
<b>CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN</b>	133
<b>7.1. Fuerza isocinética máxima</b>	133
<b>7.2. Composición corporal</b>	136
<b>CAPÍTULO VIII: LIMITACIONES</b>	141
<b>CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES</b>	145
<b>CAPÍTULO X: APLICACIONES PRÁCTICAS</b>	149
<b>CAPÍTULO XI: FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b>	153
<b>CAPÍTULO XII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	157
<b>CAPÍTULO XIII: ANEXOS</b>	197



## SIGLAS Y ABREVIATURAS

Abreviatura	Descripción
<b>ACSA</b>	Área anatómica transversal del músculo
<b>ACSM</b>	American College of Sports Medicine
<b>AHA</b>	American Heart Association
<b>ANOVA</b>	Análisis de la varianza
<b>ATP</b>	Adenosín Trifosfato
<b>cm</b>	Centímetros
<b>CMO</b>	Contenido Mineral Óseo
<b>CSA</b>	Hipertrofia de las fibras musculares
<b>CT</b>	Entrenamiento de fuerza en circuito
<b>DEXA</b>	Densitometría Absorciométrica de energía dual de rayos-X
<b>DMO</b>	Densidad Mineral Ósea
<b>EC</b>	Entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito
<b>EPOC</b>	Exceso de Consumo de Oxígeno Post-ejercicio
<b>Et al</b>	y colaboradores
<b>F</b>	Sexo femenino
<b>FC</b>	Frecuencia cardiaca
<b>FT</b>	Fibras musculares blancas y de contracción rápida
<b>FI</b>	Fibras musculares de tipo 1
<b>FII</b>	Fibras musculares de tipo 2
<b>GC</b>	Grupo control
<b>GrC (%)</b>	Porcentaje de grasa corporal
<b>GE</b>	Grupos de entrenamiento
<b>GE1</b>	Grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad con una frecuencia de entrenamiento de 1 sesión semanal
<b>GE2</b>	Grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad con una frecuencia de entrenamiento de 2 sesiones semanales
<b>GE3</b>	Grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad con una frecuencia de entrenamiento de 3 sesiones semanales
<b>GH</b>	Hormona de crecimiento
<b>GPAQ</b>	Cuestionario Mundial de Actividad Física

---

<b>h</b>	hora
<b>H+</b>	Protones
<b>HDL</b>	Lipoproteínas de Alta Densidad
<b>HRC</b>	Entrenamiento de Fuerza en Circuito de Alta Intensidad
<b>IGF-BP</b>	Factor de crecimiento insulínico específico
<b>IGF-1</b>	Factor de crecimiento insulínico tipo 1
<b>Kcal</b>	Kilocalorías
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>Km/h</b>	Kilometros/hora
<b>LDL</b>	Lipoproteínas de Baja Densidad
<b>M</b>	Sexo masculino
<b>MG (Kg)</b>	Masa grasa
<b>MGF</b>	Factor de mecano crecimiento
<b>MLG (Kg)</b>	Masa libre de grasa
<b>MPS</b>	Síntesis miofibrilar de proteínas del músculo
<b>MRI</b>	Resonancia Magnética
<b>mseg</b>	milisegundos
<b>n</b>	Tamaño de la muestra
<b>N</b>	Población entera
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>p</b>	Nivel de significación estadística
<b>Pi</b>	Fosfato inorgánico
<b>PMe</b>	Potencia media en extensión
<b>PMf</b>	Potencia media en flexión
<b>p70S6K1</b>	Proteína Ribosómica S6 Kinasa beta-1
<b>RM</b>	Número máximo de repeticiones
<b>ROS</b>	Especies reactivas de oxígeno
<b>s</b>	segundos
<b>ST</b>	Fibras musculares rojas y de contracción lenta
<b>TC</b>	Tomografía Computerizada
<b>TG</b>	Training Groups
<b>TG1</b>	Training Group 1
<b>TG2</b>	Training Group 2
<b>TG3</b>	Training Group 3

---

<b>TPe</b>	Torque pico en extensión
<b>TPRe</b>	Torque pico relativo en extensión
<b>TPf</b>	Torque pico en flexión
<b>TPRf</b>	Torque pico relativo en flexión
<b>TS</b>	Entrenamiento Tradicional de Fuerza
<b>UCAM</b>	Universidad Católica de Murcia
<b>VO2 máx</b>	Consumo Máximo de Oxígeno
<b>vs</b>	contra
<b>WTe</b>	Trabajo total en extensión
<b>WTf</b>	Trabajo total en flexión
<b>1RM</b>	1 Repetición Máxima
<b>2RM</b>	2 Repeticiones Máximas
<b>6RM</b>	6 Repeticiones Máximas
<b>7RM</b>	7 Repeticiones Máximas
<b>8RM</b>	8 Repeticiones Máximas
<b>10RM</b>	10 Repeticiones Máximas
<b>15RM</b>	15 Repeticiones Máximas
<b>±</b>	Signo más-menos
<b>=</b>	Signo igual
<b>&amp;</b>	y
<b>%</b>	Porcentaje
<b>&gt;</b>	Mayor
<b>≤</b>	Menor o igual
<b>≥</b>	Mayor o igual
<b>Δ</b>	Valores de diferencia entre pre-test y post-test
<b>α</b>	Tendencia a la significación ( $p \leq 0,10$ ) entre pre test y post test
<b>†</b>	Diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre pre test y post test
<b>*</b>	Diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre grupo de entrenamiento y grupo control
<b>'</b>	Minutos

---



## ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS

### ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Diferentes manifestaciones de la fuerza	48
FIGURA 2. Diseño experimental	100
FIGURA 3. Test de composición corporal (DEXA)	103
FIGURA 4. Test de dinamometría isocinética	104
FIGURA 5. Protocolo HRC utilizado durante el estudio	111
FIGURA 6. Periodización ondulatoria utilizada durante el entrenamiento	111
FIGURA 7. Participante en una sesión de entrenamiento	113
FIGURA 8. Dinámica de la sesión de entrenamiento HRC	114
FIGURA 9. Variación de fuerza isocinética en el torque pico de la extensión	127
FIGURA 10. Variación de fuerza isocinética en el torque pico de la flexión	127
FIGURA 11. Modificación en masa libre de grasa	129

### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Kilocalorías y porcentajes de macronutrientes	105
TABLA 2. Características generales de los grupos de entrenamiento	107
TABLA 3. Volumen de entrenamiento utilizado durante el estudio	112
TABLA 4. Hoja de control y ajuste de cargas de entrenamiento	115
TABLA 5. Control de cargas de entrenamiento en circuito de alta intensidad	117
TABLA 6. Resultados de variables en test de fuerza isocinética de extensión de rodilla	125
TABLA 7. Resultados de variables en test de fuerza isocinética de flexión de rodilla	126
TABLA 8. Datos de composición corporal	128

### ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Modelo de consentimiento informado	197
ANEXO 2. Test y pruebas de valoración de la condición física	198
ANEXO 3. Protocolos y dinámica de entrenamiento	200
ANEXO 4. Documento informativo para sujetos sometidos al estudio	201
ANEXO 5. Planilla de control de alimentación utilizada	203





# **SUMMARY**



## SUMMARY

Traditional overload strength training (TS) is the main training method used to promote neuromuscular adaptations in humans (Kraemer et al., 2002). It has been shown that TS training produces marked increases in strength (Staron et al., 1991; Chilibeck, 1998; Fleck, 2005; Izquierdo, 2006; Cadore et al., 2014), in power (Pereira et al., 2012) and hypertrophy in different population subgroups (Hunter, McCarthy, & Bamman, 2004; Peterson, Rhea, & Alvar, 2005). In addition, some studies have found improvements in maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max) over 23% (Vincent et al., 2002). In this sense, it has been widely used to increase performance in sports (Arazi & Asadi, 2011) and to prevent musculoskeletal injuries (Williams & Stewart, 2009).

This type of training is becoming increasingly important in programmes aimed at improving body composition (Paoli, Moro, & Bianco, 2015), since an increase in basal metabolic rate has been observed (Zhang et al., 2002), helping to reduce body weight (Hunter et al., 2002; Benden et al., 2014), by increasing the use of fats as fuel (Hunter McCarthy, & Bamman, 2004) and decreasing total and visceral fat mass (Chodzko-Zajko et al., 2009). From a health point of view, it can increase HDL cholesterol by 8-21%, lowering LDL cholesterol by 13-23%, and reducing the triglyceride level by 11-18% (Fahlman et al., 2002). It is also presented as a good tool to combat osteoporosis (Gomez-Cabello et al., 2012), improving movement economy (Hartman et al., 2007), speed of gait and decreasing the risk of disability in older people (Latham et al., 2004).

Despite all the benefits achieved by TS, there are some limitations which lead to an occasional lack of high adhesion due to both the training monotony and the duration of the sessions required to produce the desired effects. In this sense, CT and HRC were developed intended to obtain greater physiological benefits instead of using TS. Paoli et al., (2010), minimizing working time and maximizing training efficiency, addressing various aspects of physical fitness (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Paoli et al., 2010; Skidmore et al., 2012). CT have shown to be a very versatile training system, as it can be adapted

to a multitude of situations and different population groups with varying levels of fitness. The exercises are arranged in a circular pattern and can be modified according to the aim, motivation, or level of participants (Waller, 2011). The inclusion of CT and HRC in strength training routines is a powerful tool in cardiac rehabilitation programmes (William, 2007), reducing heart stress (Willardson, 2006b) and producing improvements comparable to those obtained with aerobic endurance training (Green et al., 2001; Braun, Hawthorne, & Markofski, 2005). Another interesting aspect when applying CT in order to increase muscle strength, is the fact that improvements are achieved by using relatively low charge intensities ( $\pm 40\%$  of 1RM) (Gettman et al., 1979; Harber et al., 2004); working out at these intensity rate allows strength gain in sedentary people. However, the necessary stimulus to achieve muscle development is insufficient (Harber et al., 2004). As for subjects with experience in overload strength training, the adaptations achieved by applying CT are minimal (Brentano et al., 2008; Paoli et al., 2010); the current patterns in relation to this type of population indicate that loads equal or greater than 65% of 1RM are necessary to cause favorable increases in hypertrophy, requiring even greater loads to maximize maximum strength (Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981; Kraemer et al., 2002; Fry, 2004).

In this sense, HRC was developed as an alternative to CT (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008), since apart from using a short training period, high loads were used and passive recoveries between sets (6RM, three minutes of active recovery between sets) were also avoided thus achieving adaptations in strength and muscular hypertrophy comparable to those that occur with TS (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Alcaraz et al., 2011; Romero-Arenas, Martinez-Appual, & Alcaraz, 2013b). When comparing the improvements obtained when using TS vs HRC, HRC reduces a 66% the time required to complete strength training triggering stimulation ( $\sim 62\%$  of Maximum Heart Rate) (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008). HRC has also shown to produce the same or greater benefits at strength level and a higher fat decrease when compared to TS (Alcaraz et al., 2011; Romero-Arenas et al., 2013a); therefore, it can be very useful for uninitiated, training experienced subjects and athletes who have little time and need to add a strength training programme into their training routine.

The manipulation of the different variables (volume, intensity, recovery, weekly frequency, etc), associated with strength training are considered essential to optimize muscular adaptations (Kraemer & Ratamess, 2004; Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007). A very important variable that can be manipulated to produce results in strength training programmes is weekly training frequency (Schoenfeld et al., 2015). Most of the definitions we have found, indicate that training frequency refers to the number of exercise sessions performed in a given time period and are usually expressed in weeks (Lloyd et al., 2014; Schoenfeld, Ogborn & Krieger, 2016a). Despite speculation on the subject, the optimal training frequency for a specific muscle group has not been determined (Wernbom, Augustsson, & Thornstenson, 2007). In a meta-analysis conducted by Schoenfeld et al., (2016a), in which the authors compared studies which applied different strength training programmes by modifying frequencies (from one to three weekly sessions) with equal volume, they concluded that training with two days week training frequency fostered greater hypertrophy rather than performing a single day a week. According to these authors and unlike the results described above, it is inferred from the data analyzed that the major muscle groups must be trained at least twice a week to maximize muscle growth; remaining undetermined for the moment if training a muscle group three times a week generates higher improvements rather than applying the same protocol twice a week.

Therefore, in the literature consulted, no studies have been found which determine the optimal training frequency applying a high intensity circuit training in subjects with little or no experience in the performance of progressive overload strength training programmes. In order to produce the greatest improvements in strength and body composition, the main aim of the present study was to analyze the effects of high intensity circuit training by applying different weekly frequencies, on isokinetic strength and body composition in untrained subjects.

**Key Words:** High intensity, body composition, strength circuit training, frequency, isokinetic strength.



# **I - INTRODUCCIÓN**





## I - INTRODUCCIÓN

El entrenamiento tradicional de fuerza con sobrecargas *Traditional Strength Training* denominado (TS), es el principal método de entrenamiento empleado para promover adaptaciones neuromusculares en el ser humano (Kraemer et al., 2002). Se ha demostrado, que el entrenamiento TS produce aumentos marcados en la fuerza (Staron et al., 1991; Chilibeck, 1998; Fleck & Kraemer, 2005; Izquierdo, 2006; Cadore et al., 2014), en la potencia (Pereira et al., 2012) y la hipertrofia, en diferentes poblaciones (Hunter, McCarthy, & Bamman, 2004; Peterson, Rhea, & Alvar, 2005). Además, algunos estudios han encontrado mejoras en el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx) de hasta el 23% (Vincent et al., 2002). En este sentido, se ha utilizado extensamente para aumentar el rendimiento en el deporte (Arazi & Asadi, 2011) y para prevenir lesiones músculo esqueléticas (Williams & Stewart, 2009). Este tipo de entrenamiento, cada vez tiene más peso en los programas destinados a mejorar la composición corporal (Paoli, Moro, & Bianco, 2015), ya que se ha observado un incremento del gasto metabólico basal (Zhang et al., 2002), ayudando a reducir el peso corporal (Hunter et al., 2002; Hunter McCarthy, & Bamman, 2004; Benden et al., 2014; Paoli et al., 2015), por un incremento de la utilización de las grasas como combustible (Hunter, McCarthy, & Bamman, 2004) y disminuyendo la masa grasa total y visceral (Chodzko-Zajko et al., 2009). Desde el punto de vista de la salud, puede incrementar el colesterol HDL entre un 8-21%, disminuyendo el colesterol LDL entre un 13-23% y reduciendo el nivel de los triglicéridos entre un 11-18% (Fahlman et al., 2002). Se presenta además, como una buena herramienta para combatir la osteoporosis (Gomez-Cabello et al., 2012), mejorar la economía de movimiento (Hartman et al., 2007), la velocidad de la marcha y disminuir el riesgo de discapacidad en personas mayores (Latham et al., 2004) .

A pesar de todos los beneficios que tiene el TS, tiene ciertas limitaciones que dan lugar a que no se genere una alta adherencia hacia el ejercicio. Por un lado debido a la monotonía del entrenamiento, y por otro, debido a la excesiva duración de las sesiones. En este sentido, el entrenamiento de fuerza en circuito

tradicional (CT) y el entrenamiento de fuerza en circuito en alta intensidad (HRC) (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008), surgieron con la pretensión de conseguir mayores beneficios fisiológicos que los que se consiguen al utilizar los típicos métodos tradicionales de fuerza (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Alcaraz et al., 2011; Paoli et al., 2010), minimizando el tiempo de trabajo, maximizando la eficiencia del entrenamiento, y abordando diversos aspectos de la condición física (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Paoli et al., 2010; Skidmore et al., 2012). Se ha demostrado, que los entrenamientos en circuito son sistemas de entrenamiento muy versátiles, ya que pueden ser adaptados a multitud de situaciones y aplicados a diferentes poblaciones con diversos niveles de condición física. Los ejercicios están dispuestos en un patrón circular y pueden ser modificados en función del objetivo, la motivación, o el nivel de los participantes (Waller, 2011). La inclusión de CT y HRC en las rutinas de entrenamiento de fuerza, son un poderoso instrumento en los programas de rehabilitación cardíaca (William, 2007), reduciendo el estrés sobre el corazón (Willardson, 2006a) y produciendo mejoras comparables a las obtenidas con el entrenamiento de resistencia aeróbica (Green et al., 2001; Braun, Hawthorne, & Markofski, 2005).

Otro de los aspectos interesantes de cara a aplicar CT con el objeto de aumentar la fuerza muscular, es que se consiguen mejoras utilizando intensidades de carga relativamente bajas ( $\pm$  40% de 1 Repetición Máxima) (Gettman et al., 1979); trabajar a estas intensidades, permite ganancias de fuerza en personas sedentarias, sin embargo, el estímulo para conseguir desarrollar parámetros musculares asociados a hipertrofia es insuficiente (Harber et al., 2004). En cuanto a sujetos con experiencia en la realización de entrenamientos de fuerza con sobrecargas, las adaptaciones que se consiguen aplicando CT son mínimas (Brentano et al., 2008; Paoli et al., 2010); las pautas actuales en relación a este tipo de población, indican que la utilización de cargas iguales o superiores al 65% de 1RM, son necesarias para provocar incrementos favorables en la hipertrofia, requiriéndose cargas aún mayores, para maximizar la fuerza máxima (Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981; Kraemer et al., 2002; Fry, 2004). En este sentido, el HRC surgió como alternativa al CT (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008), pues además de utilizar una corta duración de entrenamiento, se trabaja utilizando altas cargas y se evitan recuperaciones pasivas entre series (6RM; tres minutos de

recuperación activa entre series), consiguiendo adaptaciones en fuerza y en hipertrofia muscular, comparables a las que se producen con el entrenamiento TS (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Alcaraz et al., 2011; Romero-Arenas, Martinez-Pascual, & Alcaraz, 2013b). Al comparar las mejoras obtenidas al utilizar un entrenamiento TS con HRC, podemos afirmar, que HRC reduce en un 66% el tiempo necesario para completar un entrenamiento de fuerza (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008), provocando además una estimulación cardiovascular mayor (~ 62% de la frecuencia cardíaca máxima) (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008). El HRC ha demostrado además, producir los mismos o mayores beneficios a nivel de fuerza y una disminución de grasa superior al compararlo con TS (Alcaraz et al., 2011; Romero-Arenas et al., 2013a); por lo que puede ser de gran utilidad para sujetos no iniciados, sujetos con experiencia en entrenamiento, y deportistas que dispongan de poco tiempo y necesiten incorporar un entrenamiento de fuerza en sus planificaciones.

La manipulación de las distintas variables de la carga (volumen, intensidad, recuperación, frecuencia semanal, etc), asociadas al entrenamiento de fuerza, se consideran esenciales para optimizar las adaptaciones musculares (Kraemer & Ratamess, 2004; Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007). Una variable fundamental que puede ser manipulada para producir los resultados deseados en programas de entrenamiento de fuerza es la frecuencia semanal de entrenamiento (Schoenfeld et al., 2015). En la mayoría de las definiciones encontradas, la frecuencia del entrenamiento se refiere al número de sesiones de ejercicio realizadas en un período de tiempo dado y generalmente se expresan semanalmente (Lloyd et al., 2014; Schoenfeld, Ogborn & Krieger, 2016a). A pesar de las especulaciones sobre el tema, la frecuencia óptima de entrenamiento para un grupo muscular específico, aún no se ha determinado (Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007). En un meta-análisis llevado a cabo por Schoenfeld et al., (2016a), en el que se compararon estudios que aplicaban distintos programas de entrenamiento de fuerza modificando frecuencias (1 a 3 sesiones semanales) con igual volumen, los autores llegaron a la conclusión de que entrenar con una frecuencia de entrenamiento de 2 días semanales promovía mayor hipertrofia que llevarlo a cabo 1 sólo día semanal. Según estos autores y a diferencia de los resultados anteriormente descritos, se infiere a la vista de los datos analizados, que los principales grupos musculares deben ser entrenados al menos durante 2

sesiones semanales para maximizar el crecimiento muscular; quedando sin determinar por el momento, si entrenar un grupo muscular 3 veces por semana, genera mejoras superiores que aplicar un mismo protocolo durante 2 sesiones semanales.

Por todo ello y a la vista de la literatura consultada, no se han encontrado estudios que determinen la frecuencia óptima de entrenamiento, aplicando un circuito de alta intensidad en sujetos con escasa o nula experiencia en la realización de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Con el fin de producir las mayores mejoras en fuerza y en composición corporal, el objetivo del presente estudio fue analizar los efectos de un entrenamiento en circuito de alta intensidad aplicando diferentes frecuencias semanales, sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados

## **II - JUSTIFICACIÓN**



## II – JUSTIFICACIÓN

### 2.1 INTRODUCCIÓN

Las pruebas científicas que desde los años ochenta a los noventa apoyaron el entrenamiento de fuerza para mejorar la salud músculo-esquelética y la calidad de vida, ayudaron a que dicho entrenamiento se convirtiera en la parte central de los programas dedicados a la mejora de la condición física. Fue en 1998, cuando el American College of Sport Medicine (ACSM), estableció ciertas recomendaciones sobre el entrenamiento de fuerza/resistencia muscular en su posicionamiento (ACSM, 1998). A este posicionamiento de 1998, el ACSM ha ido añadiendo y actualizando sus recomendaciones para el entrenamiento de la fuerza muscular (ACSM, 2009; Garber et al., 2011). En estos dos últimos posicionamientos, se hace especial mención al mantenimiento de la masa muscular, la fuerza y la función metabólica, como pilares fundamentales para la actividad física cotidiana.

El entrenamiento de fuerza, es una forma de ejercicio cuya práctica ha crecido en las décadas recientes, promoviendo cambios significativos en la fuerza, la potencia y la resistencia muscular (Miranda et al., 2007); es aquí, donde el uso de nuevos materiales y de nuevas técnicas, ayudan a vencer la imagen típica asociada al entrenamiento tradicional de fuerza muscular, acercándose cada vez más hacia la consecución de una óptima condición músculo esquelética, y por tanto, a un buen estado de salud. Las nuevas tendencias de entrenamiento deportivo, no sólo han centrado su aplicación en deportistas experimentados, sino también en la población en general, siendo uno de los principios clave la individualización de los programas de acondicionamiento muscular que promuevan la adherencia de la población al ejercicio físico.

En el primer apartado de este marco teórico, se comenzará abordando el concepto de fuerza y sus características generales, para a continuación tratar los tipos de contracción muscular existentes, los tipos de fuerza en relación a la movilización de resistencias, la relación entre la fuerza y el peso corporal, y la importancia de la fuerza en referencia a la preparación para la competición en los

deportes. Pasaremos a continuación, a comentar algunas de las características generales del entrenamiento de fuerza con sobrecargas, así como los factores que influyen en la producción de fuerza cuando se utilizan este tipo de protocolos. Finalizaremos este primer apartado, analizando las principales adaptaciones que se producen al realizar este tipo de entrenamiento.

En un segundo apartado, nos centraremos en definir en qué consiste el entrenamiento tradicional de fuerza denominado (TS), analizando sus características, y las principales adaptaciones que produce su utilización. En el apartado número tres, trataremos las características asociadas al entrenamiento de fuerza en circuito (CT), pasando posteriormente a analizar las adaptaciones agudas y crónicas tras su aplicación. Seguiremos ampliando información en el siguiente apartado, hablando sobre las limitaciones de aplicar los protocolos TS y CT, y presentaremos el entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad denominado (HRC) como alternativa, hablando de sus características y de las adaptaciones agudas y crónicas que produce su aplicación. En el siguiente apartado, abordaremos el concepto de carga y sus manifestaciones. En este punto, quedarían integradas todas las variables asociadas a la carga como son: la intensidad de la carga, la duración del intervalo de descanso entre series y el volumen de entrenamiento, centrándonos posteriormente, en la importancia del número de series como factor fundamental en la planificación de entrenamientos de fuerza con sobrecargas. Dentro del mismo apartado y como aspecto fundamental y a destacar en el presente trabajo, analizaremos las principales frecuencias de entrenamiento utilizadas, así como las modificaciones que produce la utilización de una frecuencia de entrenamiento u otra sobre la fuerza y la composición corporal. Para finalizar, abordaremos el concepto de sobreentrenamiento como variable que afecta negativamente al rendimiento.

## 2.2. LA FUERZA

### 2.2.1. Definición y características generales

Se define la fuerza (strength), como el grado de fuerza ejercida a una velocidad de movimiento concreta (Knuttgen & Kraemer, 1987). Otros profesionales, utilizan el término fuerza para referirse a la capacidad de movilizar



una carga, o para ejercer fuerza isométrica (Neuman, 1988). Otro autor, Zartsiorsky, (2002), determina que la fuerza (Force), es la medida de interacción de un cuerpo sobre otro.

Podemos afirmar, que la fuerza se manifiesta por la movilización del aparato locomotor. Éste está conformado por un elemento pasivo (representado por las palancas óseas, articulaciones o centros de movimiento y ligamentos); y por un elemento activo, (constituido por el sistema neuromuscular), capaz de generar fuerzas internas en virtud de procesos de naturaleza fisiológica (Rodríguez-García, 2007). Dichos procesos, se van a ver influenciados por diferentes factores, entre los cuales, podemos destacar: la temperatura corporal, el estado de preparación o entrenamiento, la sección transversal muscular, la longitud del músculo, la pretensión muscular, el tipo de contracción muscular, el sexo, la edad, el tipo de palanca mecánica existente, los tipos de fibras musculares, la coordinación intramuscular e intermuscular, y el estado de fatiga (Ehlenz et al., 1990).

### 2.2.2. Fuerza y tipos de contracción muscular

La producción de fuerza se fundamenta en las posibilidades de contracción de la musculatura esquelética. Dicha contracción, se genera en virtud de la coordinación de las moléculas proteicas contráctiles de actina y miosina dentro de las unidades morfofuncionales descritas en las fibras musculares (sarcómeras) (Rodríguez-García, 2007). Sin embargo, la relación existente entre la tensión muscular generada y la resistencia a vencer, va a determinar diferentes formas de contracción o producción de fuerza. Las acciones musculares pueden clasificarse en estáticas y dinámicas bajo la tensión de una carga externa (Tan, 1999):

1. *Fuerza estática*: es aquella que se produce como resultado de una contracción isométrica, en la cual, se genera un aumento de la tensión en los elementos contráctiles sin detectarse cambio de longitud en la estructura muscular (Kuznetsov, 1989; Kirsch, 1993). Es decir, se produce una tensión estática en la que no existe trabajo físico, ya que el producto de la fuerza por la distancia recorrida es nulo. En este caso, la resistencia externa y la fuerza interna producida poseen la misma magnitud, siendo la resultante de

ambas fuerzas en oposición igual a cero (Rodríguez-García, 2007). El uso de ésta manifestación de la fuerza, requiere un cuidado extremo en su práctica, debido a las repercusiones cardiovasculares que conlleva en esfuerzos máximos (Macchi, 1993).

2. *Fuerza dinámica*: es aquella que se produce como resultado de una contracción isotónica o anisométrica, en la cual, se genera un aumento de la tensión en los elementos contráctiles y un cambio de longitud en la estructura muscular (Weineck, 1998). Esta contracción, puede derivar en un acortamiento, dando como resultado la llamada *fuerza dinámico concéntrica*, en la cual, la fuerza muscular interna supera la resistencia a vencer; o tensión en alargamiento de las fibras musculares, que supondría la llamada *fuerza dinámico excéntrica*, donde la fuerza externa a vencer es superior a la tensión interna generada (Rodríguez-García, 2007). Como resultado, la fuerza dinámico excéntrica, se asocia con la más alta incidencia de lesiones microscópicas y de dolor muscular de inicio retardado (Lachowetz, 1998).

Sobre la forma más eficaz de utilizar un tipo de contracción muscular u otro, no existen datos aclaratorios debidamente contrastados, siendo recomendado, el empleo del tipo de contracción muscular que esté más acorde con las condiciones específicas de la prueba en cuestión (Lambert, 1993). Desde una perspectiva mecánica, determinados autores afirman que los músculos son capaces de lograr mayores fuerzas absolutas cuando se contraen de forma excéntrica, si se comparan los resultados obtenidos con contracciones de tipo concéntrico (Westing & Seger, 1989; Westing, Cresswell, & Thorstensson, 1991; Crenshaw et al., 1995). En un metanálisis llevado a cabo por Roig et al, (2009), y en la misma línea a lo comentado con anterioridad, se llegó a la conclusión de que el entrenamiento de fuerza con el uso de contracciones de tipo excéntrico, maximiza la hipertrofia muscular en comparación con otros entrenamientos en los que se prima la utilización de otros tipos de contracciones musculares.

Otras investigaciones sin embargo, han demostrado que la utilización simultánea de contracciones excéntricas con ejercicios de contracción concéntrica, se asocia con un aumento en la electromiografía, así como la

consecución de mayores mejoras en la fuerza máxima (Tan, 1999). Así, en un estudio llevado a cabo por Hather et al, (1991), se determinó que llevar a cabo entrenamientos de fuerza con sobrecargas integrando contracciones concéntricas y excéntricas durante el mismo, conseguía mayores aumentos de la hipertrofia muscular en comparación con entrenamientos que se centraron sólo y exclusivamente en contracciones de tipo concéntrico. En un metanálisis llevado a cabo por Schoenfeld et al, (2017c), se incide también en la importancia de incluir contracciones concéntricas y excéntricas cuando el entrenamiento de fuerza está orientado hacia el incremento de la hipertrofia muscular, pues ambos han demostrado su efectividad.

En la mayoría de las contracciones musculares realizadas, se produce un cambio de tensión y de longitud en el músculo, conjugándose las contracciones isométricas e isotónicas; recibiendo esta forma de contracción, el nombre de *contracción auxotónica* (Rodríguez-García, 2007). También existe la posibilidad de realizar contracciones *isocinéticas*, empleando en este caso dinamómetros electromecánicos que mantienen constante la velocidad de contracción del músculo en esfuerzo, independientemente de la fuerza aplicada (Martín & Alonso, 1987). Este tipo de aparatos, se utilizan sobre todo en el trabajo de la fuerza explosiva y en el campo de la rehabilitación (Martín & Alonso, 1987).

Si tenemos en cuenta la interacción entre las principales formas de contracción que poseen las fibras musculares (contracción concéntrica y excéntrica), podemos hablar de dos tipos de manifestaciones de la fuerza diferentes, que suponen la llamada *fuerza activa* y *fuerza reactiva* (Vittori, 1990). Se denomina *fuerza activa*, a la manifestación de la fuerza, en la cual sólo queda patente el acortamiento de la parte contráctil en un ciclo simple de trabajo muscular. Por el contrario, en la *fuerza reactiva* y, en virtud de los tejidos conectivos de naturaleza fibrosa que rodean a las estructuras musculares, se genera un doble ciclo de trabajo muscular representado por el *mecanismo de estiramiento-acortamiento*. Cuando los tejidos se elongan, se acumula una gran energía potencial que puede ser transformada en energía cinética sumativa a la fase de contracción concéntrica que sigue al estiramiento (Vittori, 1990).

### 2.2.3. La fuerza en relación a la movilización de resistencias

La fuerza y la velocidad de ejecución mantienen una relación inversa, de tal forma que, ante una gran resistencia a superar, la velocidad de ejecución disminuye (Jakov et al., 1989). Así, podemos encontrar por un lado pequeñas resistencias a vencer que se desplazan a gran velocidad de movimiento, y por otro lado, grandes cargas movilizadas utilizando movimientos de extrema lentitud (Rodríguez-García, 2007). De esta relación, junto a la inclusión de fenómenos como la aparición de una mayor o menor fatiga ante la duración de las contracciones musculares, surgen las clasificaciones más frecuentes y generales establecidas por diferentes autores del campo del entrenamiento deportivo (Hegedüs, 1975; Harre, 1985; Matvéev, 1985; Cometti, 1988; Bompa, 1990; González & Gorostiaga, 1995).

*Fuerza máxima*: se define como la capacidad neuromuscular de realizar una contracción voluntaria estática o dinámica máxima; y es la mayor expresión de fuerza que el sistema neuromuscular puede aplicar ante una resistencia dada (Ozolin, 1983; Hauptmann, 1987; Navarro, 1987). Esta manifestación de la fuerza, puede clasificarse a su vez en estática (fuerza máxima estática), cuando la resistencia a vencer no puede superarse; o dinámica (fuerza máxima dinámica), si se produce desplazamiento de dicha resistencia (Rodríguez-García, 2007). En relación a la denominada fuerza máxima dinámica, determinados autores distinguen entre la llamada *fuerza máxima concéntrica*, cuando la resistencia sólo se puede desplazar 1 vez o se desplaza ligeramente, y *fuerza máxima excéntrica*, como la utilización de la fuerza máxima que se opone ante una resistencia que se desplaza en sentido opuesto a la dirección de aplicación de fuerza que realiza el sujeto (Pipes & Wilmore, 1975; González & Gorostiaga, 1995). Dentro de la fuerza máxima dinámica, autores como Battista, (1975), hablan también de la llamada *fuerza pura*, como aquella movilización de carga que tan sólo permite realizar de 2 a 4 repeticiones en un ejercicio.

La fuerza máxima, depende de varios factores que son susceptibles de ser entrenados, como son: la sección transversal del músculo o hipertrofia (Peña, Roldan & Vaamonde, 1985), la coordinación intermuscular de los diferentes grupos musculares que participan en una acción, la coordinación intramuscular

o grado de intervención coordinada de las diferentes unidades motrices que configuran un grupo muscular (Veicsteinas, Orizio, & Perini, 1993), y las fuentes energéticas necesarias para la síntesis de proteínas musculares (Berra & Rapelli, 1990; Macchi, 1991; Monteventano, 1991).

Cuando el tipo de fuerza que se manifiesta no alcanza el máximo de su expresión, podemos hablar en este caso de *fuerza submáxima*. Este tipo de fuerza, posee también una modalidad estática (isométrica), y una modalidad dinámica, y que viene expresada normalmente en términos de porcentaje sobre la fuerza máxima (Rodríguez-García, 2007).

*Fuerza explosiva*: este tipo de fuerza también se denomina fuerza-velocidad, y se caracteriza por la capacidad del sistema neuromuscular de generar una alta velocidad de contracción ante una resistencia dada (Hegedüs, 1975; Cerani, 1993; Generelo & Tierz, 1994; Harre & Hautmann, 1994). En este caso, la carga a superar va a determinar la preponderancia de la fuerza o de la velocidad de movimiento en la ejecución del gesto. No obstante, las mejoras de fuerza explosiva encuentran una mayor correlación en el trabajo de fuerza que con mejoras de velocidad de ejecución (Delgado et al., 1990).

El tipo de fibras musculares implicadas en la acción a desarrollar, va a tener una importancia vital para este tipo de manifestación de la fuerza (Morales et al., 1990). Así, las fibras blancas, rápidas o fibras FT (fibras de alta velocidad de contracción, gran producción de fuerza y adaptadas a esfuerzos intensos de naturaleza anaeróbica), son las que poseen un papel preponderante en contraposición a las fibras rojas, lentas o ST (poseen escasa velocidad de contracción, generan poca fuerza, y están adaptadas a esfuerzos aeróbicos de larga duración) (Morales et al., 1990). También se utiliza el término *fuerza lenta*, que podría ser comparado a las manifestaciones de fuerza máxima dinámica o fuerza pura (Kuznetsov, 1989).

Autores como Kuznetsov, (1989), distinguen entre *fuerza explosiva* y *fuerza rápida*, señalando que la *fuerza explosiva* supone la superación de resistencias que no alcanzan el límite mediante la aplicación de la máxima aceleración (potencia), mientras que la *fuerza rápida*, es la aplicación de una aceleración por debajo de la máxima, con el objeto de superar una resistencia similar a la anterior. Dentro de la fuerza explosiva, se puede establecer una atención directa a los elementos

elásticos de las fibras musculares, circunstancia que justifica la aparición de otras formas de fuerza, en las cuales, el ciclo estiramiento-acortamiento ejerce una acción principal. De esta forma, surge la llamada *fuerza explosivo-elástica* y la *fuerza explosivo-elástico-reactiva* (Vittori, 1990; González & Gorostiaga, 1995). Ambos tipos de fuerza, suponen una subclasificación de la llamada *fuerza pliométrica*, definida como la capacidad de alcanzar una fuerza máxima en un período de tiempo lo más corto posible, y en virtud de la energía acumulada en los procesos de estiramiento-acortamiento musculares (Gutiérrez & Padial, 1991; Chu, 1993).

La *fuerza explosivo-elástica*, es aquella fuerza potencial que la musculatura almacena cada vez que se ve sometida a un estiramiento, energía que se transforma en cinética cuando se establece la fase de contracción concéntrica; es decir, los elementos elásticos del músculo actúan como si fuesen un muelle (Vittori, 1990).

En la *fuerza explosivo-elástico-reactiva*, se produce una reducción sensible del ciclo de estiramiento-acortamiento, circunstancia que añade a la acción restitutiva de los tejidos la intervención del reflejo miotático o reflejo de estiramiento, que aumenta en gran medida la siguiente contracción. La fase de estiramiento-acortamiento ha de ser extremadamente rápida para obtener los beneficios de la acción refleja, situándose en torno a 240-160 mseg (Vittori, 1990).

*Fuerza-resistencia*: es la capacidad de soportar la fatiga en la realización de esfuerzos musculares que pueden ser de corta, media y larga duración (Zatsiorsky et al., 2002). Supone, por tanto, una combinación de las cualidades de fuerza y resistencia, donde la relación entre la intensidad de la carga y la duración del esfuerzo van a determinar la preponderancia de una de las cualidades sobre la otra. En este sentido, podemos hablar de la llamada *fuerza resistencia de corta duración*, donde se intenta superar la fatiga ante intensidades superiores al 80% de una repetición máxima (1 RM), circunstancia en la cual no existe aportación de oxígeno y nutrientes por vía sanguínea, debido al cierre de las vías arteriales a causa de la elevada tensión muscular; o de la denominada *fuerza resistencia de media duración*, utilizada mayoritariamente en esfuerzos mantenidos ante cargas situadas entre el 20% y el 40% de 1 RM, donde las

capacidades de fuerza y resistencia aportan un valor prácticamente equitativo de cara al rendimiento. Por último, señalar la denominada *fuerza resistencia de larga duración*, manifestada en esfuerzos mantenidos por debajo del 20% de 1 RM, y donde las vías de producción de energía aeróbicas adquieren una clara preponderancia en relación a la fuerza local (Rodríguez-García, 2007).

#### 2.2.4. Fuerza y peso corporal

Si tenemos en cuenta que uno de los factores determinantes de la producción de fuerza, es la cantidad de tejido muscular existente para establecer una valoración consecuente de la fuerza, ésta ha de ser analizada en relación directa con el peso corporal total del sujeto que la ejerce, ya que, a mayor número de miofibrillas musculares, mayor cantidad de fuerza podrá ser generada (Rodríguez-García, 2007).

De la relación existente entre la fuerza y el peso corporal, surgen los términos de *fuerza absoluta* y *fuerza relativa* (Harre, 1985; Weineck, 1988). Por *fuerza absoluta*, se entiende la cantidad de fuerza que un sujeto puede generar independientemente de su peso corporal, mientras que la *fuerza relativa*, es la cantidad de fuerza producida en relación al peso corporal. Altos niveles de fuerza relativa, suponen un índice importante para el desarrollo de la fuerza explosiva (Martin, 1987).

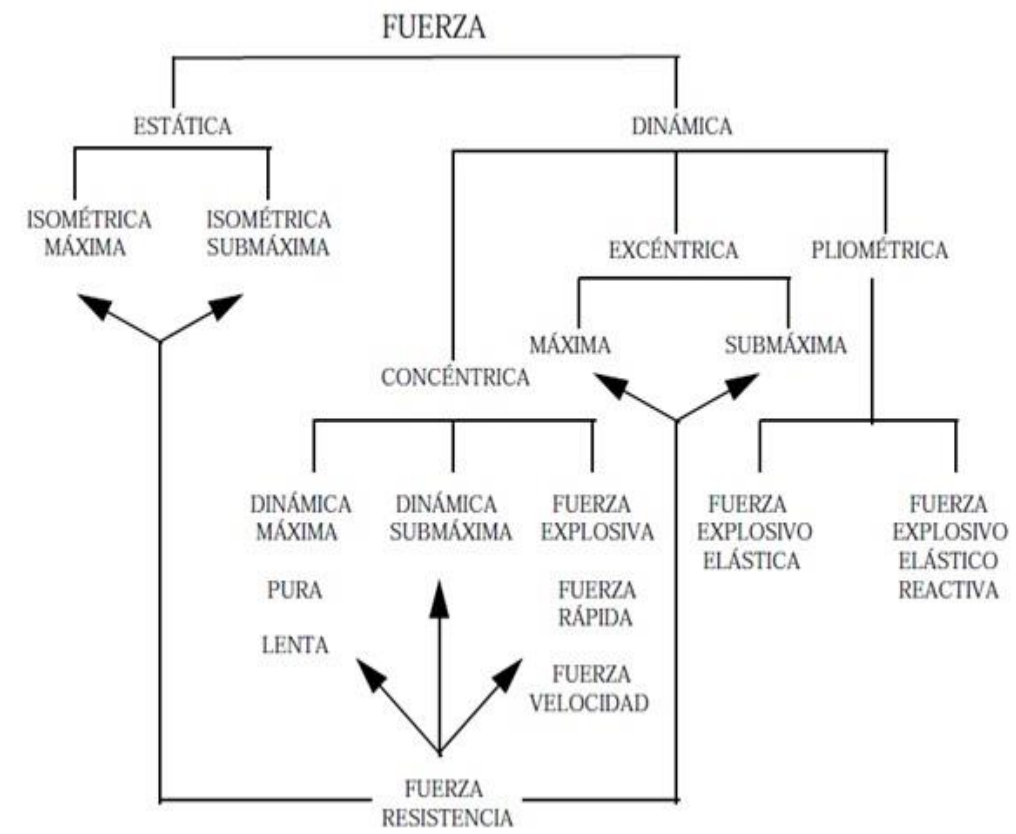
Junto a estas manifestaciones de la fuerza, destaca también la denominada *fuerza límite*, que es aquella magnitud de fuerza que no puede ser obtenida de forma voluntaria, llegándose a conseguir a través de condiciones psicológicas extremas, consumo de fármacos o electroestimulación (Martin, 1987). Algunos autores utilizan también la expresión *fuerza absoluta*, para referirse a la *fuerza límite* (Generelo & Tierz, 1994; Gonzalez & Gorostiaga, 1995).

#### 2.2.5. Fuerza y deporte: preparación para la competición

Otra de las clasificaciones que se pueden establecer en relación con la fuerza, surge de la consideración del tipo de trabajo realizado en las actividades deportivas practicadas. En este sentido, se puede hablar de *fuerza general* y de *fuerza específica* o *especial* (Navarro, 1987; Harre & Hautmann, 1994). Por *fuerza*

*general*, se entienden todos aquellos ejercicios que persiguen una formación global y de preparación básica de la fuerza; así, estos ejercicios son válidos para el desarrollo de cualquier disciplina deportiva. Por otro lado, *la fuerza específica o especial*, se refiere a todos aquellos ejercicios que tienden al aumento de la fuerza en las condiciones concretas que se requieren en una disciplina deportiva determinada, trabajando los grupos musculares más solicitados en dichas disciplinas, y reproduciendo en todo momento los gestos concretos de dicha actividad (Navarro, 1987; Harre & Hautmann, 1994).

En la figura número 1, y a modo aclaratorio, se muestra un esquema en el que quedan integradas las diferentes manifestaciones de la fuerza tratadas con anterioridad.



**Figura 1.** Diferentes manifestaciones de la fuerza (Rodríguez-García, 2007)



### 2.3. EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA CON SOBRECARGAS

Este extenso apartado, versará sobre los diferentes componentes asociados al entrenamiento de fuerza con sobrecargas y que influyen directamente en la utilización de un determinado protocolo u otro. Comenzaremos analizando las características generales de este tipo de entrenamiento, pasando posteriormente a tratar los factores asociados a la producción de fuerza, y finalizando el mismo, abordando las principales adaptaciones que se producen en el organismo tras la aplicación de entrenamientos de fuerza utilizando sobrecargas.

#### 2.3.1. Características

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas, es un método de acondicionamiento físico mediante el cual un individuo trabaja contra una amplia gama de cargas para mejorar la salud, el fitness y/o aumentar su rendimiento deportivo (Nelson et al., 2007). Esta resistencia o carga, puede ser generada por el propio peso corporal, por bandas elásticas, pesos libres (pesas y mancuernas), máquinas específicas y balones medicinales (Lloyd et al., 2014).

#### 2.3.2. Factores asociados a la producción de fuerza en protocolos de entrenamiento que utilizan sobrecargas

##### 2.3.2.1. Factores estructurales

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas es el método principal utilizado por los seres humanos para aumentar significativamente la hipertrofia muscular a lo largo de la vida útil (Shoenfeld, 2010). Se han observado aumentos en el área de sección transversal muscular (CSA), de más del 50% en hombres y mujeres sin experiencia y sometidos a un protocolo de entrenamiento de fuerza programado y controlado durante varios meses; produciéndose además marcadas diferencias interindividuales entre sujetos (Hubal et al., 2005; Bamman et al., 2007). Las investigaciones que emplean una amplia gama de técnicas de exploración como la resonancia magnética (MRI), tomografía computarizada (TC) y ultrasonido, han encontrado aumentos significativos en el área anatómica transversal del músculo

(ACSA), utilizando períodos de entrenamiento relativamente cortos (8-12 semanas) (Abe et al., 2000). El aumento en el CSA de las fibras del músculo esquelético (hipertrofia de las fibras musculares), se considera la adaptación primaria debido a la utilización de protocolos de entrenamiento de fuerza a largo plazo, y ha sido ampliamente documentada por autores como Jones et al., (2013). Se cree, que la hipertrofia explica el aumento del CSA muscular, puesto que al aumentar el material contráctil dispuesto en paralelo (número de puentes cruzados), se produce un aumento en la producción de fuerza (Folland & Williams, 2007).

#### 2.3.2.2. Factores neurales

El papel de los factores neurales es particularmente importante durante las fases tempranas del entrenamiento de fuerza. El sistema neuromuscular, muestra un alto grado de adaptabilidad y responde al entrenamiento de fuerza generando una mayor producción de torque y aumentando la fuerza muscular (Folland & Williams, 2007). Aunque la síntesis proteica es notable despues de una sólo sesión de entrenamiento de fuerza, hay autores que establecen que los cambios notables en hipertrofia muscular, no se observan hasta la octava semana de entrenamiento (Philips, 2000). Este retraso en el aumento de la hipertrofia, concurre con una sustancial ganancia de fuerza muscular, lo que sugiere que los factores neurales son importantes en estas primeras fases del entrenamiento (Gabriel, Kamen, & Frost, 2006). Una de las adaptaciones iniciales que se producen en el sistema nervioso, es un aumento de la capacidad de excitar al máximo los grupos de neuronas motoras; esta capacidad excitatoria, puede ser secundaria a una disminución de la inhibición, y a un aumento en la activación de los mecanismos facilitadores (Jenkins et al., 2017).

La intensidad de la carga es una variable muy importante de cara a la mejora de los factores neurales. La evidencia que muestra el trabajo llevado a cabo por Jenkins et al., (2017), sugiere que 6 semanas de entrenamiento utilizando el 80% de 1RM, provoca mayores adaptaciones neurales que la movilización de cargas que utilicen el 30% de 1 RM.

### 2.3.2.3. Factores hormonales

#### 2.3.2.3.1. Papel del estrés metabólico en las adaptaciones al entrenamiento

El estrés metabólico, se manifiesta como resultado de la utilización de ejercicios que utilizan la glucólisis anaeróbica para la producción de ATP (Schoenfeld, 2010), lo que resulta en la acumulación de metabolitos como el lactato, Fosfato inorgánico (Pi) y Protones (H+) (Suga et al., 2012). Autores como Schoenfeld, (2013), proponen que un mayor estrés metabólico puede estimular diversos procesos fisiológicos asociados con la hipertrofia muscular; sin embargo, el mecanismo exacto por el cual esto ocurre no se sabe con total certeza. Una posible explicación, es el aumento del reclutamiento de la unidad motora. Es posible que la acidosis metabólica cause una fatiga prematura en las fibras que son reclutadas inicialmente durante el ejercicio, resultando esta fatiga, en la activación adicional de más unidades motoras para mantener el mismo nivel de generación de fuerza (Scott, Goods, & Slattery, 2016).

Otros autores como Nishimura et al., (2010), establecen que el mecanismo que produce las adaptaciones hipertróficas debido al estrés metabólico inducido por el ejercicio, incluye un aumento del reclutamiento de fibras, una producción hormonal sistémica elevada, alteraciones en las mioquinas locales, aumento de la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), e hinchazón celular. Además, la hipoxia muscular aguda asociada con el entrenamiento de fuerza con sobrecargas, puede servir para aumentarlo, y por tanto, para estimular aún más las adaptaciones hipertróficas (Pierce et al., 2006; Ramos-Campo et al., 2017b).

El papel hipertrófico potencial que provoca el estrés metabólico inducido por el ejercicio, se puede observar empíricamente examinando los protocolos de entrenamiento de intensidad moderada adoptados por la mayoría de culturistas, que tienen el propósito de aumentar la acumulación metabólica a expensas de intensidades de entrenamiento más altas (Fry, 2004; Shoenfeld, 2010). Las típicas rutinas de culturismo orientadas a la hipertrofia, implican el desempeño de múltiples series de 6-12 repeticiones por ejercicio y utilizando intervalos de descanso relativamente cortos (Lambert & Flynn, 2002). Estas rutinas, han demostrado inducir significativamente más estrés metabólico que protocolos de mayor intensidad típicamente empleados por powerlifters (Kraemer et al., 1999).

Por el momento, no parece haber un umbral mínimo o un esquema óptimo de entrenamiento per se, para maximizar la hipertrofia muscular (Gonzalez et al., 2016). Ciertas recomendaciones indican, que la utilización de protocolos de entrenamiento de fuerza activando grandes grupos musculares y utilizando un alto volumen (3-6 series, 8-12 repeticiones), ejecutadas utilizando una intensidad moderada (60-85% 1 RM), y aplicando intervalos de descanso cortos entre series (30-90 segundos), provocan las mayores elevaciones agudas de testosterona y de GH (Gonzalez et al., 2016). Asimismo, se ha demostrado, que determinados tipos de ejercicios provocan alteraciones hormonales agudas, y en algunos casos crónicas, que parecen desempeñar un papel muy importante en la hipertrofia (Michels & Hoppe, 2008).

Como se ha comentado con anterioridad, diversos estudios muestran que las hormonas y citoquinas desempeñan un papel integral en la respuesta hipertrófica, actuando como reguladores del proceso anabólico (Schoenfeld, 2010). Las concentraciones elevadas de hormonas anabólicas, aumentan las probabilidades de que los receptores interaccionen, facilitando el metabolismo de las proteínas y generando el crecimiento muscular posterior (Crewther, Cronin, & Keogh, 2006).

Las tres hormonas más ampliamente estudiadas en relación a la hipertrofia muscular, son: el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1), la testosterona, y la hormona de crecimiento (GH) (Schoenfeld, 2010; Paunksnis et al., 2017). Destacaremos también en este apartado el cortisol, puesto que entre otras funciones, tiene la de satisfacer las mayores demandas metabólicas que se producen durante el ejercicio.

#### 2.3.2.3.2. *Factor de crecimiento insulínico tipo 1*

El factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1), proporciona la principal respuesta anabólica del organismo, mostrando además un efecto mayor en respuesta al ejercicio (Brahm et al., 1997; Hameed et al., 2004; Goldspink, 2005). IGF-1 es una hormona peptídica, llamada así por sus similitudes estructurales con la insulina. Esta hormona, se encuentra en células satélite activadas, miofibrillas adultas y células de Schwann (Barton-Davis, Shoturma, & Sweeney, 1999). La disponibilidad de IGF-1 para el músculo, está controlada por otras proteínas

fijadoras del factor de crecimiento insulínico, denominadas IGF-BP. Estas proteínas, estimulan o inhiben los efectos de IGF-1, después de unirse ésta a una IGF-BP específica (Toigo & Boutellier, 2006).

Se han identificado tres isoformas distintas de IGF-1, las formas sistémicas IGF-1Ea e IGF-1Eb, y una variante de corte y empalme, IGF-1Ec. Aunque las tres isoformas se encuentran en el tejido muscular, solo el IGF-1Ec parece activarse por señales mecánicas (contracciones musculares provocadas por el ejercicio) (Yang et al., 1996; Hameed et al., 2004). Debido a su respuesta a la estimulación mecánica, IGF-1Ec se conoce familiarmente como factor de mecano-crecimiento (MGF) (Schoenfeld, 2010).

#### 2.3.2.3.3. *Testosterona*

Los intentos para determinar los efectos que produce el entrenamiento de fuerza y más concretamente el estrés metabólico sobre la testosterona, han sido en gran medida poco concluyentes. Aunque varios estudios han demostrado que los programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas orientados a la hipertrofia causan mayores elevaciones post-ejercicio de testosterona en comparación con rutinas que no aumentan sustancialmente el estrés metabólico (Buresh, Berg, & French, 2009; McCaulley et al., 2009; Smilios et al., 2014); otros sin embargo, no han encontrado diferencias significativas (Kraemer et al., 1990a; Reeves & Kraemer, 2006; Suga et al., 2010). Cabe señalar, que variables tales como el sexo, la edad, la experiencia de entrenamiento y el estado nutricional, pueden afectar a la liberación de testosterona (Kraemer & Ratamess, 2005), y estos factores pueden explicar los resultados inconsistentes observados en la investigación hasta la fecha.

#### 2.3.2.3.4. *Hormona de crecimiento*

Una de las glándulas endocrinas más relevantes y a tener en cuenta de cara al entrenamiento es la hipófisis, pues esta glándula secreta Hormona del Crecimiento (GH). Se trata de una hormona polipeptídica que actúa favoreciendo el metabolismo de las grasas a partir de la movilización de los triglicéridos, estimulando la captación celular e incorporando aminoácidos de varias proteínas

hacia el músculo, dando como resultado la hipertrofia de las fibras tipo I y II (Vierck et al., 2000). En referencia a las acciones hipertróficas directas de GH en relación al entrenamiento de fuerza con sobrecargas, existen diversas opiniones al respecto. Por un lado, autores como Doessing et al., (2010), afirman que las acciones hipertróficas directas de la GH en la acumulación de proteínas musculares parecen ser insignificantes, con efectos aparentemente limitados en la síntesis de colágeno. Por otro lado, Schoenfeld, (2013), apoya la idea de que existe una fuerte correlación entre el ejercicio, el estrés metabólico inducido, y el aumento de la secreción hipofisaria de GH.

#### 2.3.2.3.5. *Cortisol*

El cortisol es una hormona catabólica que, entre otras funciones, tiene la de desempeñar un papel fundamental en la degradación de las proteínas de los músculos esqueléticos. Sin embargo, un papel destacado de la respuesta aguda al cortisol, es la de satisfacer las mayores demandas metabólicas que se generan al llevar a cabo entrenamientos de fuerza con sobrecargas, produciéndose la mayor respuesta aguda al cortisol en los deportistas que movilizan altas cargas durante el entrenamiento (Hakkinen & Pakarinen, 1993; Kraemer et al., 1993; Ahtiainen et al., 2004). Asimismo, la respuesta aguda al cortisol, también se relaciona con el volumen total de trabajo y la magnitud de las cargas del protocolo de entrenamiento de fuerza empleado (Kraemer et al., 1993; Gotshalk et al., 1997). En relación a los efectos crónicos que se producen en el organismo tras la realización de entrenamientos de fuerza en referencia al cortisol, ciertos estudios muestran que se produce una reducción general y significativa en las respuestas del organismo asociadas al mismo (Kraemer et al., 1993; Staron et al., 1994; Gordon et al., 1994; Kraemer et al., 1995; Fry, 2004).

### **2.3.3. Principales adaptaciones del entrenamiento de fuerza con sobrecargas**

Se han identificado varias adaptaciones morfológicas al aplicar diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza con sobrecargas (Gordon et al., 1994; Staron et al., 1994; Kraemer et al., 1995; Aagaard et al., 2002; Fry, 2004; Seynnes,

de Boer, & Narici, 2007); la primaria y la más ampliamente estudiada, es la hipertrofia muscular (Folland & Williams, 2007). De igual modo, este tipo de protocolos ayudan a promover un aumento marcado de la fuerza muscular, independientemente de la edad y del género (Ivey et al., 2000; Kosek et al., 2006).

La literatura científica disponible, avala que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas utilizando pesos libres y máquinas, es recomendado por asociaciones como la ACSM y la American Heart Association (AHA), por los beneficios que aporta a la salud de la mayoría de poblaciones (Chodzko-Zajko et al., 2009); además, se considera el método más utilizado para conseguir un aumento de la masa y del volumen muscular, fuerza, potencia y resistencia muscular a nivel local en jóvenes y en personas mayores (ACSM, 1998; Hunter, McCarthy, & Bamman, 2004; Kraemer & Ratamess, 2004; Peterson et al., 2010; Pereira et al., 2012; Cadore et al., 2014).

El principal efecto que tiene este tipo de ejercicio sobre el control del peso corporal, es la influencia que ejerce sobre el gasto asociado a la actividad física y en el consumo energético basal (Benden et al., 2014). Este tipo de programas, tienen cada vez más peso en planificaciones que tienen como objeto la mejora de la composición corporal (Paoli, Moro, & Bianco, 2015), ya que como se ha descrito, produce hipertrofia muscular (Hunter, McCarthy, & Bamman, 2004), lo que hace que aumente el gasto metabólico basal, ayudando a mejorar el control del peso corporal (Hunter et al., 2002), mejorando la utilización de las grasas como combustible e incrementando el perfil metabólico (Hunter et al., 2000). Existe una relación directa entre la masa muscular y el gasto metabólico basal (Zhang et al., 2002); habiéndose demostrado que el entrenamiento de fuerza es capaz de aumentar el metabolismo basal (Hunter et al., 2008) y de disminuir la masa grasa total y visceral (Chodzko-Zajko et al., 2009). Este tipo de entrenamiento, puede incrementar el colesterol HDL entre un 8-21%, disminuyendo el colesterol LDL en un 13-23% y reduciendo el nivel de los triglicéridos entre un 11 y un 18% (Fahlman et al., 2002). Se presenta, como una buena herramienta para combatir la osteoporosis (Gomez-Cabello et al., 2012; Romero-Arenas et al., 2013b), mejorar la economía de movimiento (Hartman et al., 2007), la velocidad de la marcha, y disminuir el riesgo de discapacidad de los ancianos (Latham et al., 2004). El entrenamiento de fuerza y más concretamente el entrenamiento de fuerza en

circuito, han demostrado provocar mejoras en el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx) independientemente del protocolo utilizado (Vincent et al., 2002; Munoz-Martinez et al., 2017).

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas, provoca también un incremento del gasto energético en reposo (Benden et al., 2014); después de un entrenamiento de fuerza con sobrecargas intenso o prolongado, el consumo de oxígeno sigue siendo elevado durante varias horas; a esto se le conoce como «Exceso de Consumo de Oxígeno Post-Ejercicio» (EPOC) (Mann et al., 2014). Este metabolismo elevado tras el ejercicio, desempeña un papel fundamental en la demanda energética del mismo y en el efecto total de éste sobre el control del peso corporal (Paoli, Moro, & Bianco, 2015). En una revisión llevada a cabo por Paoli, Moro y Bianco (2015), los autores argumentaron que el EPOC aumenta de forma exponencial en función de la intensidad del ejercicio, mientras que lo hace de forma lineal en función de la duración del mismo. Algunos estudios demuestran, que un entrenamiento de fuerza con sobrecargas ejecutado a alta intensidad, genera mayor EPOC que un entrenamiento de fuerza con sobrecargas realizado a una intensidad de trabajo más baja (Haltom et al., 1999).

En cuanto al efecto que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas provoca sobre el hueso, el aumento del estrés mecánico que proporciona su realización, ha demostrado promover la osteogénesis (Gomez-Cabello et al., 2012; Edwards, 2013). Un meta-análisis llevado a cabo por Gomez-Cabello et al., (2012), concluyó, que llevar a cabo programas de entrenamiento de fuerza específicos, podría incrementar las variables asociadas a la producción de hueso, o al menos atenuar la pérdida de masa ósea, en mujeres post-menopáusicas. En una investigación realizada por Rhodes et al., (2000), se observaron correlaciones significativas entre los cambios producidos en la fuerza del tren inferior y en la densidad mineral ósea (DMO) del cuello del fémur y de la columna vertebral (0.27 a 0.40), en una población de mujeres mayores. Posteriormente, Vincent et al., (2002), observaron un aumento del 1,96 % en la DMO del cuello del fémur, sin cambios significativos en la DMO del cuerpo completo y la columna vertebral, después de un entrenamiento de fuerza de alta intensidad y de bajo volumen llevado a cabo durante 24 semanas en una muestra de personas adultas con edades comprendidas entre los 60 y los 83 años.



Existe consenso entre los científicos del deporte y entrenadores a la hora de afirmar que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas es clave a la hora de mejorar el rendimiento deportivo (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011b). La cuantificación de las relaciones dosis-respuesta entre las variables de entrenamiento y el resultado, es fundamental para la correcta prescripción del entrenamiento de fuerza con sobrecargas (Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007). Los programas de entrenamiento diseñados para la mejora del rendimiento deportivo, buscan además mejoras en diversos parámetros asociados a la condición física, incluyendo la fuerza, la masa muscular, la resistencia cardiovascular, la composición corporal, el equilibrio, la coordinación y el rendimiento motor (Wilmore et al., 1978; Gettman et al., 1979; Kraemer & Ratamess, 2004; Bird, Tarpenning, & Marino, 2005; Blazevich et al., 2009; Heggelund et al., 2013; Nilwik et al., 2013). Desde una óptica específica asociada al desarrollo de la potencia, el entrenamiento de fuerza utilizando diversas cargas (pesadas, ligeras y óptimas), el entrenamiento pliométrico, los ejercicios balísticos o los que utilizan diversas combinaciones de cargas, han demostrado producir grandes incrementos en acciones de potencia máxima (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011b). En la fase de preparación o pretemporada, sería indicado lograr un aumento de la masa muscular en aquellos deportistas que lo precisen, mientras que en fases más avanzadas, sería interesante conseguir ciertas adaptaciones neurales introduciendo el entrenamiento de la fuerza máxima junto con otros que produzcan incrementos moderados de la masa muscular (Lehnhard et al., 1996). Aunque no hay consenso sobre qué método de entrenamiento es más eficaz, lo que si queda claro es que los diferentes métodos de entrenamiento de fuerza han de ser utilizados durante la temporada para garantizar un desarrollo efectivo de la fuerza muscular y de la potencia en los deportistas (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011b).

Con respecto a los deportes de equipo, la fuerza y la potencia son dos capacidades fundamentales para el rendimiento (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011b); en la mayoría de estos deportes, existe una alta demanda de la capacidad de aceleración y de potencia de salto para las acciones que se dan durante la competición (Hoff, Gran, & Helgerud, 2002; Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007). El entrenamiento de la fuerza y más concretamente el de la fuerza máxima, es un factor fundamental para conseguir un óptimo desarrollo de los niveles de

potencia en estos deportistas (Hoff, Gran, & Helgerud, 2002; Cormie, McGuigan, & Newton, 2011a; Cormie, McGuigan, & Newton, 2011b).

## 2.4. EL ENTRENAMIENTO TRADICIONAL DE FUERZA (TS)

### 2.4.1. Características

Se trata de un entrenamiento de fuerza en el cual se movilizan cargas pesadas, en torno al 70-100% del 1RM, con periodos de recuperación entre series de moderados a largos (2-5 min), y utilizando pesos libres o máquinas de musculación (Kraemer & Ratamess, 2004). La característica fundamental que debe contener un programa específico de entrenamiento de fuerza tradicional, es el uso de acciones musculares concéntricas y excéntricas así como la utilización de ejercicios monoarticulares y multiarticulares (Kraemer et al., 2002). La progresión a la hora de programar este tipo de entrenamientos, debe ser un proceso dinámico con un periodo previo de prescripción del ejercicio, una evaluación del progreso en el entrenamiento y un desarrollo cuidadoso de las metas propuestas (Kraemer & Ratamess, 2004). Es recomendable además, que las secuencias de ejercicios utilizados sigan una estructura concreta de cara a optimizar la calidad y la intensidad de los ejercicios “ejercicios de grandes grupos musculares antes que ejercicios de pequeños grupos”, “ejercicios multiarticulares antes de ejercicios monoarticulares”, y “ejercicios de alta intensidad antes que ejercicios de baja intensidad” (Kraemer et al., 2002). La importancia de la utilización de determinadas secuencias de ejercicios, la exponen autores como Simao et al., (2007). En este trabajo, los investigadores llegaron a la conclusión, de que al aplicar un entrenamiento de fuerza tradicional a una población de mujeres de diferentes edades y con experiencia en la realización de este tipo de protocolos, el rendimiento se vio afectado por la utilización de determinadas secuencias de ejercicios y de la implicación de grupos musculares grandes o pequeños.

### 2.4.2. Principales adaptaciones

Las investigaciones actuales que analizan la respuesta fisiológica del organismo a este tipo de entrenamiento, reportan un aumento en los indicadores metabólicos agudos del lactato sanguíneo (Berning et al., 2007; Shoenfeld, 2010; West et al., 2014), en la frecuencia cardíaca (Berning et al., 2007; Lagally et al., 2009; Keogh et al., 2010), y en el consumo máximo de oxígeno (Berning et al., 2007; Harris et al., 2016). Investigaciones que analizan los niveles hormonales que se producen al realizar este tipo de entrenamientos, han mostrado un aumento sustancial en los niveles hormonales agudos de la testosterona inmediatamente después de llevarlos a cabo (Ghigiarelli et al., 2013; West et al., 2014). Del mismo modo, se producen aumentos agudos del cortisol al tomar las mediciones inmediatamente después del entrenamiento, disminuyendo a niveles inferiores a los basales en torno a las tres horas posteriores (West et al., 2014). Este tipo de entrenamiento en el cual se movilizan cargas pesadas a baja velocidad de movimiento y de forma controlada, se realiza con el objetivo fundamental de conseguir modificaciones en parámetros asociados a la condición física (Kraemer & Ratamess, 2004); estas modificaciones, se asocian fundamentalmente con un aumento sustancial en la fuerza y la masa muscular, en los ángulos de los fascículos musculares y en la densidad mineral ósea en adultos sanos (Stone, O'Bryant, & Garhammer, 1981; Hakkinen, 1985; Kawakami et al., 1995; Narici et al., 1996; Aagaard et al., 2001; Aeles et al., 2017). Estos incrementos que se producen en la masa y en la fuerza muscular, son muy importantes para la mejora de muchos aspectos del rendimiento físico en deportistas (Wilson et al., 1993; Hakkinen et al., 1998; Paavolainen et al., 1999).

## 2.5. EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN CIRCUITO TRADICIONAL (CT)

### 2.5.1. Características

El entrenamiento de fuerza en circuito tradicional, denominado también *Circuit Training* o (CT), se presentó en su momento como una modalidad de ejercicio desarrollada por Morgan y Adamson en la Universidad de Leeds en la década de los años 50. Se trata de un modelo de entrenamiento versátil, que puede ser adaptado a multitud de situaciones y poblaciones con diversos niveles

de condición física (Morgan & Adamson, 1959). Los ejercicios están dispuestos en un patrón circular, y pueden ser modificados en función del objetivo, la motivación, o el nivel de los participantes (Skidmore et al., 2012); CT permite la posibilidad de que un gran número de personas tomen parte en la misma sesión al mismo tiempo, este hecho se corresponde con la utilización de una amplia variedad de ejercicios y con el aumento de posibilidades de incrementar las relaciones interpersonales, lo que lleva a un mayor nivel de motivación durante la realización del mismo (Camargo et al., 2008).

El entrenamiento CT, es uno de los métodos de entrenamiento de la fuerza con sobrecargas más populares y utilizados actualmente, para minimizar el tiempo y maximizar la eficiencia del entrenamiento (Skidmore et al., 2012). Varios programas de CT, han sido examinados con resultados dependientes de la intensidad del ejercicio, de la manipulación del tiempo de trabajo y de descanso, del número de ejercicios y de series realizadas, y de la modalidad utilizada (isotónico y/o isocinético) (Harber et al., 2004; Skidmore et al., 2012; Ferreira et al., 2016). Este tipo de programas, tienen una duración aproximada de 30 minutos por sesión, por lo que es una modalidad de ejercicio muy eficiente en el tiempo (Harber et al., 2004). CT consiste en realizar series de ejercicios de fuerza (6-10 ejercicios) que impliquen distintos grupos musculares; el circuito se repite de una a tres veces dependiendo del nivel de condición física de los participantes; cada serie consta de 12-15 repeticiones, en las que se utilizan cargas moderadas, aproximadamente 40-60% de 1 repetición máxima (1RM), con una relación entre el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso habitual de 1 minuto entre series (1:1), o 30 segundos entre series (30:30) (Romero-Arenas et al., 2013a). La estimulación de los principales grupos musculares se produce de forma alterna (Romero-Arenas et al., 2013), así, mientras un grupo muscular es estimulado, otro se recupera activamente (Alcaraz et al., 2011); debido a la alternancia de los grandes grupos musculares, los periodos de descanso breves entre ejercicios son posibles, lo que hace que la carga que recibe el sistema cardiorrespiratorio sea más elevada que en un entrenamiento de fuerza convencional (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008).

### 2.5.2. Principales adaptaciones

Actualmente, la prevalencia de personas con sobrepeso es un grave problema de salud pública y es un factor de riesgo a la hora de desarrollar trastornos cardiovasculares y metabólicos (Bocalini et al., 2012). Este tipo de entrenamiento, ha sido comúnmente utilizado para mejorar diversos aspectos de la condición física, consiguiendo mayores beneficios fisiológicos que con los métodos tradicionales de fuerza (Miranda et al., 2007). Se trata además, de una herramienta muy útil para trabajar simultáneamente la fuerza, la resistencia muscular, la resistencia cardiorrespiratoria y la potencia muscular en diversas poblaciones (Camargo et al., 2008; Williams & Stewart, 2009; Paoli et al., 2010).

La inclusión del entrenamiento en circuito, es una buena opción en los programas de rehabilitación cardíaca debido a que reduce el estrés sobre el corazón (Willardson, 2006a), provocando además, una mejora en la función de los músculos respiratorios debido a la alta ventilación que se produce durante su realización (Braun, Hawthorne, & Markofski, 2005). CT ha demostrado ser un método efectivo para reducir el peso corporal y la condición física en personas obesas (Bocalini et al., 2012), demostrando además ser muy eficaz para incrementar el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2máx}$ ), la ventilación pulmonar máxima, la capacidad funcional y la fuerza máxima, reduciendo al mismo tiempo la masa grasa y mejorando la composición corporal (Gettman et al., 1979; Harber et al., 2004; Camargo et al., 2008; Monteiro et al., 2008; Munoz-Martinez et al., 2017). El entrenamiento en circuito, ha demostrado también aumentar el área de sección transversal del músculo en las fibras tipo IIA, y tiende a mejorar la cantidad de masa muscular en personas sedentarias en tan solo 10 semanas de entrenamiento (Harber et al., 2004).

La implicación de los metabolismos aeróbico y anaeróbico al llevar a cabo CT produce óptimos resultados relacionados con la reducción de la grasa corporal, mejora de la condición física, y aumento de la capacidad funcional (Gettman, Ward, & Hagan, 1982; Ross et al., 2000; Maiorana et al., 2001; Watts et al., 2004); si los ejercicios del circuito son realizados además en todo su rango de movimiento, parece ser que mejoran la flexibilidad, factor importante para las tareas diarias y que se va deteriorando con la edad (Fett, Fett, & Marchini, 2009).

## 2.6. LIMITACIONES DE LOS ENTRENAMIENTOS TRADICIONALES DE FUERZA (TS) Y DE LOS CIRCUITOS DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA TRADICIONALES (CT)

Aunque al aplicar TS con cargas de elevada intensidad (6RM), se producen importantes adaptaciones musculares (Alcaraz et al., 2011); en lo referente a la obtención de mejoras en resistencia cardiovascular, TS se muestra insuficiente para inducir adaptaciones cardiovasculares significativas (Hoff, Gran, & Helgerud, 2002; Kraemer et al., 2002). Se ha demostrado, que la frecuencia cardiaca (FC) que se alcanza al aplicar este tipo de protocolos es relativamente baja, obteniéndose valores medios de  $113,0 \pm 13,1$  latidos por minuto, lo que equivaldría a  $\pm 62\%$  de la FC máxima (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008); si a todo esto se le suman los tiempos prolongados de entrenamiento y de descanso entre las series que son necesarios al aplicar TS (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008), este tipo de entrenamiento, supone un gran problema a la hora de aplicarlo en una planificación deportiva a deportistas o a sujetos iniciados en el entrenamiento con sobrecargas que no disponen de suficiente tiempo para llevar a cabo protocolos de entrenamiento muy duraderos (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008). De igual modo, la pérdida de grasa corporal tras la aplicación de TS es mínima, por lo que normalmente hay que implementarlo con un programa de acondicionamiento físico aeróbico y de control dietético (Alcaraz et al., 2011).

Por otro lado, el entrenamiento CT en el que habitualmente se utilizan cargas bajas, ha demostrado previamente no promover incrementos de fuerza similares a los provocados por un entrenamiento TS (Brentano et al., 2008). Al utilizar intensidades relativamente bajas ( $\sim 40\%$  del 1RM) (Gettman et al., 1979), CT sólo produce ganancias de fuerza en personas sedentarias o principiantes en la realización de entrenamientos de fuerza (Muñoz-Martínez et al., 2017), pues el estímulo para conseguir adaptaciones de fuerza, masa muscular (Harber et al., 2004; Paoli et al., 2010) y masa ósea (Brentano et al., 2008) es mínimo, generando un problema notable para aquellos deportistas cuyos objetivos principales se basan en aumentar moderadamente la masa muscular y mejorar los factores neurales que intervienen en la activación muscular (Harber et al., 2004).

En multitud de estudios se han examinado los beneficios del entrenamiento en circuito usando cargas ligeras (Allen, Byrd, & Smith, 1976; Gettman et al., 1978; Gettman, Culter, & Strathman, 1980; Gettman, Ward, & Hagan, 1982; Messier & Dill, 1985; Haltom et al., 1999; Harber et al., 2004); sin embargo, las pautas más

actuales de entrenamiento, indican que cargas  $\geq$  al 65% de 1RM, son necesarias para provocar incrementos favorables en la hipertrofia, requiriéndose cargas aún mayores para maximizar la fuerza máxima (Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981; Kraemer et al., 2002; Fry, 2004).

Debido a las limitaciones que se producen al aplicar los sistemas de entrenamientos tradicionales de fuerza con sobrecargas (TS y CT), se hace necesaria la utilización de nuevos métodos con el objetivo fundamental de paliar las deficiencias observadas. Con este objetivo, en los últimos años surgen nuevas propuestas de entrenamiento como el entrenamiento interválico de alta intensidad (Viñuela García et al., 2017), el entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad (HRC) (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008), y otros métodos de entrenamiento concurrente cuya finalidad principal es optimizar el tiempo de entrenamiento (Vera-Ibáñez et al., 2017).

## 2.7. EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN CIRCUITO DE ALTA INTENSIDAD (HRC) COMO ALTERNATIVA A LA APLICACIÓN DE OTROS PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA CON SOBRECARGAS

### 2.7.1. Características de HRC

La característica principal que define a High-intensity Resistance Circuit Training o HRC y que lo diferencia de otros sistemas de entrenamiento, reside en los tiempos de recuperación entre ejercicios (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008). HRC utiliza una recuperación activa durante la recuperación local (3 minutos); sin embargo, en otros sistemas de entrenamiento se utilizan recuperaciones pasivas y no se realiza ningún ejercicio durante esta fase (Alcaraz et al., 2011). Con la intención de repartir los ejercicios durante este tiempo de recuperación (40 segundos), en HRC se ejecutan ejercicios diferentes implicando al tren superior e inferior de forma alterna, con la intención de no repercutir negativamente en la recuperación de la fatiga local (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008). Con la intención de conseguir mayores adaptaciones en fuerza y en hipertrofia muscular, en HRC los sujetos trabajan con altas cargas (6 RM) (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008).

### 2.7.2. Respuestas agudas

HRC reduce en un 66%, el tiempo necesario para completar un entrenamiento de fuerza si se compara con otros protocolos más tradicionales (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008), aumentando significativamente el rendimiento físico (Ramos-Campo et al., 2017a), y provocando una estimulación cardiovascular mayor ( $\pm 62\%$  de Frecuencia Cardíaca Máxima) (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Ramirez-Velez et al., 2016), por lo que puede ser de gran utilidad para sujetos no iniciados, sujetos con experiencia en entrenamiento, y deportistas, que dispongan de poco tiempo y necesiten incorporar un entrenamiento de fuerza en sus planificaciones.

Los ejercicios de alta intensidad, suelen ser conocidos por tratarse de un potente estímulo para el aumento de la circulación de hormonas anabólicas en sujetos jóvenes (Kraemer et al., 1990b). Los cambios del equilibrio ácido-base y de las concentraciones de lactato en sangre, han sido relacionados con la liberación de la hormona del crecimiento (GH) (Gordon et al., 1994); se ha sugerido, que la hipertrofia muscular puede ser debida, al menos en parte, al incremento de hormonas anabólicas endógenas inducido por el ejercicio agudo, pudiendo aumentar el tamaño de la masa muscular y mejorar la función neuromuscular (Kraemer et al., 1990b).

Otro aspecto a destacar tras la realización de este protocolo, es el aumento del Consumo de Oxígeno Post Ejercicio (EPOC); este aumento del EPOC, provoca un mayor gasto energético del sujeto incluso una vez finalizado el mismo (Alcaraz et al., 2011; Marín-Pagán, Romero-Arenas, & Alcaraz, 2013).

### 2.7.3. Adaptaciones crónicas

HRC ha demostrado producir los mismos o mayores beneficios a nivel de fuerza isocinética, disminución de masa grasa y densidad mineral ósea en relación a TS (Alcaraz et al., 2011; Romero-Arenas et al., 2013a). En una investigación llevada a cabo por Gremeaux et al., (2012), en la que se aplicó un protocolo de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad (HRC), durante 9 meses y a una población de sujetos con obesidad, se produjo una disminución del riesgo cardiovascular y aumentó además la tolerancia al ejercicio.



De igual modo, la aplicación de HRC también mejoró la resistencia muscular y la capacidad aeróbica, en un trabajo llevado a cabo por Schmidt et al., (2016); en este estudio, participaron 96 sujetos en edad universitaria y recreacionalmente activos (53 mujeres, 43 hombres).

Tras aplicar 3 circuitos de entrenamiento de fuerza similares pero de distinta intensidad, a una muestra de 40 participantes de edades comprendidas entre los 50-65 años, Paoli et al., (2010), observaron, mejoras superiores en composición corporal, lactato en sangre, fuerza e hipertrofia muscular, en el circuito que utilizó una intensidad de carga más elevada (6RM).

## 2.8. LA CARGA

Según el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM), las principales variables metodológicas que determinan la carga y que son utilizadas para la prescripción del ejercicio son: la intensidad, el número de series y repeticiones, el intervalo de descanso entre series, el orden de los ejercicios, la velocidad de los movimientos, y la frecuencia de entrenamiento (ACSM, 2009). La manipulación de estas variables, dependen de la meta específica del individuo y del nivel de los participantes, considerándose esenciales para la prescripción de programas de entrenamiento de fuerza apropiados, y para optimizar las adaptaciones musculares (Rhea et al., 2003; Kraemer & Ratames, 2004; Miranda et al., 2007; Wernborn, Augustsson, & Thomee, 2007).

El estudio llevado a cabo por Kraemer y Ratames (2004), muestra además, que las alteraciones en la carga de entrenamiento, tienen un efecto significativo sobre las respuestas metabólicas, hormonales y neurales agudas después del ejercicio, factores que se han postulado para mediar mejoras en la fuerza y la hipertrofia muscular a medio y largo plazo.

### 2.8.1. Intensidad de la carga

Las diferentes intensidades de carga utilizadas en los protocolos de entrenamiento de fuerza se asignan como un porcentaje de 1RM (% de 1 RM), o como un número máximo de repeticiones (RM), es decir, la carga más pesada que se levanta cierto número de veces (Speakman, 1975; Fry, 2004). La intensidad de

la carga o cantidad correcta de peso que debe levantar un sujeto, es la variable más difícil de medir pero también la más importante en un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas (Gomez-Cabello et al., 2012). Existe una relación inversa entre la carga asignada y el número de repeticiones que un sujeto puede ejecutar con esa carga; es decir, cuanto más ligera sea la carga asignada a un ejercicio mayor será el número de repeticiones que podrán realizarse; por el contrario, cuanto más pesada sea la carga, menor será el número de repeticiones (Gomez-Cabello et al., 2012).

#### 2.8.1.1. *Respuestas agudas asociadas a la intensidad de la carga*

La idoneidad de utilizar un mayor o menor porcentaje de carga en el entrenamiento de fuerza con sobrecargas, no está claro ni establecido por el momento. En un intento de clarificar los efectos agudos de la intensidad del entrenamiento de fuerza con sobrecargas en humanos, Kumar et al., (2009), investigaron las respuestas agudas al ejercicio utilizando un intervalo de 20-90% de 1 RM, en hombres jóvenes y ancianos sanos. El protocolo fue diseñado, para que el volumen de entrenamiento fuera aproximadamente igual entre las diferentes intensidades de entrenamiento. Así, con una intensidad de carga del 20%, los participantes realizaron 3 series de 27 repeticiones; con un 40% de intensidad, se realizaron 3 series de 14 repeticiones; con un 60% de intensidad, el entrenamiento consistió en 3 series de 9 repeticiones; con un 75% de intensidad, se realizaron 3 series de 9 repeticiones; con un 85% de intensidad, 3 series de 8 repeticiones; y al 90% de intensidad, se realizaron 6 series de 3 repeticiones. Los aumentos de la síntesis miofibrilar de proteínas del músculo (MPS), fueron mínimos después de los entrenamientos que utilizaron intensidades del 20% y del 40% de 1 RM respectivamente, pero los valores aumentaron significativamente y marcadamente al 60% de 1RM, estabilizándose a partir de entonces. De forma similar, la fosforilación de p70S6K (enzima que induce la síntesis proteica tras un proceso denominado fosforilación), se maximizó a intensidades comprendidas entre el 60-90% de 1 RM, alcanzando su máximo justo antes del aumento máximo de la MPS. Estos resultados fueron muy similares tanto en sujetos jóvenes como en personas mayores, lo que sugiere que el efecto estimulador sobre la MPS, alcanza su máximo entre el 60-75% de 1RM en ejercicios isoinerciales.

### 2.8.1.2. Respuestas crónicas asociadas a la intensidad de la carga

Determinados estudios han intentado evaluar las adaptaciones hipertróficas a largo plazo en un continuum carga-intensidad en programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Kraemer et al., (1999), sometieron a un grupo de personas mayores a un entrenamiento de fuerza (8-10 repeticiones con una carga del 60-75% de 1RM), durante 6 meses y con una frecuencia de 3 sesiones semanales, observando un aumento estadísticamente significativo del 24% en el tamaño de las fibras tipo II, sin un incremento estadísticamente significativo de las fibras tipo I. El mismo grupo de investigación, demostró además, que ese aumento de las fibras tipo II, se producía de forma similar en ambos sexos; estos resultados sugieren que tanto hombres como mujeres, se pueden beneficiar por igual del mismo protocolo de entrenamiento (Leenders et al., 2013). Esta hipertrofia específica de la fibra muscular tipo II, se atribuye probablemente a los patrones de reclutamiento muscular que se producen al llevar a cabo entrenamientos de fuerza con sobrecargas a una intensidad de carga elevada (Leenders et al., 2013).

En una línea de investigación similar, Campos et al., (2002), llevaron a cabo su estudio utilizando una muestra de 32 hombres sin experiencia en la realización de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas ( $22,5 \pm 5,8$  años). Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de los tres protocolos de entrenamiento propuestos del tren inferior: un grupo de bajas repeticiones 3-5 RM (n= 9), realizaron 4 series de cada ejercicio, y utilizaron 3 minutos de descanso entre series; un segundo grupo que utilizó un número de repeticiones intermedias (n= 11), 9-11 RM para 3 series, con intervalos de descanso de 2 minutos; y un grupo de altas repeticiones (n= 7), que realizó 2 series y utilizando intensidades de carga comprendidas entre el 20-28 RM, con intervalos de descanso de 1 minuto; por último, un grupo denominado control (n= 5), que no realizó ningún tipo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. El protocolo se realizó utilizando un volumen casi idéntico en todos los grupos, y consistió en llevar a cabo un ejercicio de press de pierna, una sentadilla y un ejercicio que implicara la extensión de la rodilla. El entrenamiento se llevó a cabo 2 días a la semana durante las primeras cuatro semanas, y 3 días a la semana durante las cuatro semanas finales. La carga utilizada se incrementó progresivamente a lo largo del período de entrenamiento para mantener rangos de repetición, y todas las series

se completaron hasta llegar al fallo muscular. Se llevó a cabo una biopsia muscular tras el protocolo de entrenamiento para evaluar los cambios en CSA del vasto lateral. Después de 8 semanas, los grupos que utilizaron rangos de repeticiones altas e intermedias, mostraron aumentos significativos del 12,5%, 19,5% y 26% en CSA para las fibras de tipo I, IIA e IIX, respectivamente; el grupo que utilizó un rango de repeticiones más elevado, no alcanzó sin embargo, significación estadística ni cambios en CSA para ninguno de los tipos de fibra, lo que indicó que el ejercicio de menor intensidad es deficiente para promover el aumento de la hipertrofia.

#### 2.8.1.3. *Intensidad óptima de la carga*

Ha existido mucho debate sobre las estrategias a seguir a la hora de determinar la carga óptima con el objeto de maximizar la respuesta adaptativa al entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Autores como Kraemer et al., (2002), han planteado la hipótesis de que una carga  $\geq 65\%$  de 1 RM, es necesaria para provocar aumentos favorables en la hipertrofia; necesitándose cargas aún más altas, para maximizar las ganancias de fuerza máxima. Esta creencia, se basa en la premisa de que se requiere una carga muy pesada para lograr el reclutamiento completo de las unidades motoras en su umbral más alto, y que las mejoras óptimas en la fuerza y la hipertrofia, sólo pueden lograrse mediante la activación completa de éstas (Kraemer & Ratamess, 2004).

Los estudios que tienen como objeto identificar las intensidades de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza máxima, se complican por la interacción entre intensidad y volumen; pues manipular la intensidad de forma aislada, produciría resultados engañosos (Kraemer & Ratamess, 2004). Ya en su momento, Berger, (1962), comparó el efecto de un entrenamiento de press de banca utilizando 2, 4, 6, 8, 10 y 12RM, con una frecuencia de entrenamiento de 3 sesiones por semana, concluyendo que la carga óptima se encuentra entre 3 y 9 RMs. Evidentemente, cada grupo experimentó diferentes volúmenes de entrenamiento, el grupo que utilizó 2RM llevó a cabo tan sólo 6 repeticiones por semana; un volumen tan bajo, proporciona apenas un estímulo apreciable para el músculo, y puede enmascarar la eficacia de la carga que se está probando. Según este autor, utilizar volúmenes de entrenamiento iguales o parcialmente

equiparados entre los grupos, habría proporcionado una reflexión más precisa sobre la influencia de utilizar diversas cargas de entrenamiento en relación a las ganancias de fuerza (Berger, 1962).

Autores como Brentano et al., (2008), determinaron que no se producen diferencias en las mejoras de fuerza en sujetos no entrenados, cuando se utilizan intensidades de entrenamiento entre moderadas (50-65% del 1RM) y altas (70-80% del 1RM). Sin embargo, un meta-análisis llevado a cabo por Peterson et al., (2010), ha demostrado que intensidades de entrenamiento moderadas-altas (65-80 % del 1RM), producen un mayor efecto en las ganancias de fuerza muscular.

Determinados estudios, demostraron en su momento y de manera convincente, que la utilización de cargas pesadas 70-100% de 1RM, o 1-6 RMs, son las más efectivas para el mantenimiento y el aumento de la fuerza máxima (Berger, 1962; Schmidt & Haralambie, 1981; Stone, O'Bryant, & Garhammer, 1981; Stone et al., 1982; Hakkinen, 1985). Otro estudio llevado a cabo en este caso por Aagaard et al., (2002), corrobora los resultados obtenidos en los estudios referenciados con anterioridad, afirmando que la realización de entrenamientos de fuerza con sobrecargas utilizando intensidades de carga que oscilan entre 6 RM (85% 1RM) hasta cargas de 1RM, son el método principal para el desarrollo de la fuerza máxima.

Investigaciones como la llevada a cabo por Heggelund et al., (2013), llegaron a la conclusión de que los ejercicios que utilizan altas cargas, no solo producen incrementos en la fuerza máxima, sino también en la potencia máxima (Hermassi et al., 2011), en la tasa de desarrollo de la fuerza (Aagaard et al., 2002) y en la economía de trabajo (Heggelund et al., 2013). Se cree que esta manifestación de la fuerza (fuerza máxima), es la cualidad física que más potencia máxima genera (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011b). En realidad, existe una relación fundamental entre la fuerza y la potencia, lo que indica que un sujeto no puede generar la potencia necesaria, sin tener previamente un alto nivel de fuerza máxima (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011b).

No existe por el momento consenso, respecto a lo que podría considerarse una carga óptima a la hora de establecer la intensidad idónea a utilizar durante el entrenamiento. Por un lado, autores como Cadore et al., (2014), afirman que para maximizar las ganancias de fuerza, la intensidad de entrenamiento debe ser de

moderada a alta, y comprendida entre  $\pm 65-80\%$  del 1RM. Estos mismos autores, determinaron también, que era necesario utilizar una intensidad de carga más baja ( $\pm 40-60\%$  del 1RM) y una velocidad de movimiento más alta, para inducir mayores adaptaciones en la potencia muscular. Un trabajo realizado por Van Roie et al., (2013), con una población de 56 personas mayores, arrojó sin embargo resultados diferentes. En este caso, se produjeron mejoras similares en hipertrofia muscular en los extensores y flexores de rodilla tras comparar entre grupos, y utilizando dos protocolos de entrenamiento similares durante 12 semanas en los que se utilizaron bajas y altas cargas (20 % y 80% de 1RM) respectivamente. Otro estudio realizado por Fisher y Steele (2017), y en la misma línea de resultados a los comentados con anterioridad, muestra que no existen diferencias significativas en cuanto a mejoras de la fuerza en los extensores de rodilla al llevar a cabo un entrenamiento de fuerza utilizando altas y bajas cargas. Las mejoras en fuerza fueron significativas en ambos grupos, pero no existieron diferencias significativas entre ambos. En el metanálisis llevado a cabo Schoenfeld et al., (2017a), también se concluye, que se obtienen cambios similares en hipertrofia muscular al comparar protocolos de alta y baja intensidad de la carga. Concretamente, se determinó que trabajar con altas intensidades de carga ( $\geq 60\%$  de 1 RM), maximiza el incremento de la fuerza máxima, mientras que la utilización de cargas variables ( $\leq 60\%$  de 1 RM y  $> 60\%$  de 1 RM), son igualmente efectivas para el aumento de la hipertrofia muscular.

### **2.8.2. Duración del intervalo de descanso**

Entre las variables asociadas a la carga, el intervalo de descanso entre series ha sido el que menos atención ha recibido si se le compara con otras a las que se les ha dotado de mayor relevancia como la intensidad y el volumen (Henselmans & Schoenfeld, 2014). Sin embargo, determinados estudios (Willardson, 2006b; Willardson & Burkett, 2008), han demostrado que la utilización de intervalos de descanso concretos entre series, pueden provocar diferentes respuestas agudas y adaptaciones crónicas en los sistemas neuromuscular y endocrino. Generalmente, la duración del intervalo de descanso se prescribe en función del objetivo de entrenamiento (Kraemer et al., 2002; Willardson, 2006b; Schoenfeld et al., 2016b).

2.8.2.1. *Influencia del intervalo de descanso en la hipertrofia muscular y en las respuestas hormonales agudas al aplicar programas de fuerza*

Aunque varios estudios (Abdessemed et al., 1999; McCall et al., 1999; Goto et al., 2004), sugieren que la utilización de períodos de descanso cortos ( $\leq 1$  minuto), proporcionan un estímulo superior para la hipertrofia debido al incremento agudo de la activación de la hormona del crecimiento. Otras investigaciones concluyen sin embargo, que este incremento agudo de la hormona del crecimiento podría no asociarse con aumentos en la hipertrofia muscular a largo plazo, debido fundamentalmente a que otras hormonas anabólicas como la testosterona y la insulina, o como el factor de crecimiento 1 (IGF-1), no se elevan con intervalos cortos de descanso entre las series (de Salles et al., 2009; Schoenfeld, 2010). Cuando el objetivo del entrenamiento es la hipertrofia muscular, la combinación de series de intensidad de carga moderada, junto con la utilización de intervalos de descanso cortos (30-60 segundos), podría ser la mejor alternativa, debido a que se producen mayores aumentos agudos de la hormona del crecimiento, contribuyendo al efecto hipertrófico (de Salles et al., 2009). Schoenfeld et al., (2017a), en un estudio en el que analizaron los efectos que producía un entrenamiento de fuerza de bajas cargas (40% de 1RM), y llevando a la musculatura al fallo muscular con la utilización de diferentes intervalos de descanso (30 y 90 segundos respectivamente), hallaron sin embargo, aumentos en la hormona de crecimiento y en IGF-1 independientemente del intervalo de descanso utilizado. Estos autores demostraron con la citada investigación, que el intervalo de descanso no influye en la respuesta metabólica aguda del organismo al llevar a cabo protocolos de entrenamiento de fuerza con sobrecargas a baja intensidad.

2.8.2.2. *Influencia del intervalo de descanso en las adaptaciones crónicas del organismo al aplicar programas de fuerza*

Un programa óptimo para el incremento de la fuerza, probablemente incluya una combinación de bajas cargas, altas repeticiones, e intervalos cortos de descanso entre series (Kraemer et al., 2002; Faigenbaum et al., 2009). Por esta razón, y debido a la estructura que sigue este planteamiento, la utilización de un protocolo de entrenamiento de fuerza en formato circuito, es ideal para el

desarrollo de la fuerza muscular. Al utilizar este tipo de protocolos, se utilizan intervalos de descanso cortos entre ejercicios que implican grupos musculares diferentes ( $\pm 30$  segundos), mientras que se prescriben intervalos de descanso más largos ( $\pm 3$  minutos), entre ejercicios de fuerza que implican grupos musculares similares, y que no se realizan consecutivamente con el objeto de poder mantener un alto número de repeticiones (Willardson, 2006b).

El American College of Sport Medicine (ACSM), recomienda la utilización de intervalos de descanso cortos (1-2 minutos), para programas de entrenamiento diseñados con el objeto de aumentar la hipertrofia muscular en sujetos principiantes e intermedios; recomendando la utilización de periodos de descanso más largos (2-3 minutos), si los ejercicios precisan la utilización de altas cargas, si focalizan en la zona abdominal, o si se trata de poblaciones de deportistas de nivel avanzado en la realización de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas (Garber et al., 2011). Henselmans y Schoenfeld (2014), concluyeron en su estudio sin embargo, que la investigación no muestra resultados concisos sobre la utilización de un intervalo de descanso u otro para el desarrollo de la fuerza y de la hipertrofia muscular. Afirman, que según los hallazgos observados, la utilización de descansos inter-set con duraciones superiores a 60 segundos, son efectivas cuando el objetivo es maximizar la hipertrofia muscular, pudiendo variar el enfoque en función del nivel de esfuerzo y de la selección de ejercicios. Cuando el esfuerzo es máximo o cercano al máximo, puede ser necesario un intervalo de descanso más largo para mantener el nivel de rendimiento; por el contrario, un esfuerzo submáximo, puede permitir la realización de entrenamientos que precisen de intervalos de descanso más cortos (Henselmans & Schoenfeld, 2014). Fink et al., (2017), posteriormente, concluyeron que los efectos crónicos referentes a fuerza e hipertrofia muscular, es independiente del intervalo de descanso utilizado. En este caso, el protocolo utilizado se realizó utilizando bajas cargas (40% de 1RM), y se llevó a los sujetos al fallo muscular en cada uno de los ejercicios seleccionados.

Autores como Grgic et al., (2017a), exponen que la selección del ejercicio es también uno de los componentes clave en relación a la duración óptima del descanso entre series. El citado estudio, concluye que la utilización de ejercicios de peso libre y multiarticulares, son más exigentes y más fatigantes, y que por tanto, justifican intervalos de descanso inter-set más largos; por el contrario,



ejercicios uniarticulares realizados en máquinas con poleas, son menos intensos y permiten reducir el intervalo de descanso entre series.

Basándonos en un enfoque de cara a mejorar la hipertrofia muscular, el entrenamiento de fuerza con sobrecargas debería basarse en la realización de ejercicios complejos multi-articulares e incorporar intervalos de descanso prolongados en la primera parte del entrenamiento de cara a permitir la activación voluntaria máxima de las unidades motoras y el mantenimiento de la intensidad del entrenamiento; cambiando más adelante el enfoque, introduciendo ejercicios uniarticulares con intervalos de descanso más cortos hacia el final de la sesión, e induciendo un mayor estrés metabólico (Kraemer et al., 2002; ACSM, 2009; Grgic et al., 2017a).

### **2.8.3. Importancia del volumen de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza y de la hipertrofia muscular**

#### *2.8.3.1. Definición y características*

El volumen de entrenamiento, es el trabajo total realizado dentro de un tiempo especificado y se puede determinar con precisión calculando el trabajo realizado en julios (fuerza x distancia). Los volúmenes de entrenamiento que se usan más comúnmente son: 1). Repeticiones totales = series x repeticiones, 2). Volumen de la carga = series x repeticiones x peso utilizado (Tan, 1999). Otros autores como Lloyd et al., (2014), se refieren al volumen de entrenamiento, como el número total de veces que se realiza un ejercicio dentro de una sesión, multiplicada por la resistencia utilizada y expresada en kilogramos. Autores como Hass et al., (2000), establecen que el volumen de entrenamiento podría calcularse como: 1). Número de series completadas de cada ejercicio. 2). Número de repeticiones que se ejecutan en cada serie. 3). Número total de veces que se ejecutan los ejercicios en un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas.

El volumen de entrenamiento, al igual que la intensidad, es un estímulo importante para las ganancias de fuerza, y ejerce una influencia de gran magnitud en las adaptaciones musculares (Lloyd et al., 2014). Se sugirió en su momento, que para desarrollar la fuerza máxima, el volumen de entrenamiento es quizás

más importante que la intensidad de la carga durante las fases iniciales del entrenamiento de fuerza (Kramer et al., 1997). Aclarar, que la relación entre volumen e intensidad es inversa por naturaleza; cuanto mayor es la intensidad de la carga, menor es el número de repeticiones que pueden completarse por el individuo (volumen) (Kramer et al., 1997).

Se ha demostrado, que el volumen utilizado, afecta a las respuestas neuronales, hipertróficas, metabólicas y hormonales en programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas (ACSM, 2009; Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2017b).

#### *2.8.3.2. Relevancia del número de series en la planificación de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas*

Uno de los aspectos más importantes para el diseño de entrenamientos de fuerza con sobrecargas es el número de series. Como se ha comentado con anterioridad, la realización de una o más series, queda establecido o determinado por la intensidad de la carga (Tan, 1999). Los sistemas de series sencillas (sólo 1 serie) o de series múltiples (más de 1 serie), son sistemas comunes para la mejora muscular y para la mejora del rendimiento, tanto en sujetos entrenados como en sujetos principiantes o iniciados (Kraemer & Ratamess, 2004; Gentil et al., 2015). Para optimizar el tiempo, algunos atletas realizan sólo 1 serie llegando hasta el fallo muscular; sin embargo, la utilización de series múltiples, ha demostrado lograr mayores incrementos en la fuerza máxima (Kramer et al., 1997); así, la mayoría de los entrenadores y atletas, utilizan un intervalo comprendido entre las 3 y 6 series por grupo muscular en sus planificaciones (Stone, O'Bryant, & Garhammer, 1981; Stone et al., 1996).

La mayoría de los estudios que se han llevado a cabo con la intención de analizar los efectos que provoca el volumen de entrenamiento sobre el aumento de la fuerza y la hipertrofia muscular, han comparado los efectos de realizar 1 o 3 series de cada ejercicio por sesión de entrenamiento, en sujetos no entrenados durante las etapas iniciales del entrenamiento (6-12 semanas) (Paulsen, Mykkestad, & Raastad, 2003; Kraemer & Ratamess, 2004; Cannon & Marino, 2010). Autores como Marx et al., (2001), concluyeron, que las mejoras significativas en la

hipertrofia muscular, pueden alcanzarse ya sea con un programa de entrenamiento de bajo o de gran volumen durante las primeras 12 semanas de entrenamiento. Laursen y Jenkins (2002), en una línea de trabajo similar, establecieron que un aumento adicional del volumen en individuos altamente capacitados, no parecía mejorar aún más el rendimiento ni las variables fisiológicas asociadas al mismo. Los resultados comentados con anterioridad, contradicen a los obtenidos en su momento por otros autores que reportaron aumentos de fuerza similares en individuos principiantes, al llevar a cabo 2 y 3 series (Capen, 1956) y 2 y 4 series (Ostrowski et al., 1997), mientras que 3 series por grupo muscular, reportaron mejoras superiores que la realización de 1 o 2 series en referencia al desarrollo de la fuerza y de la hipertrofia muscular (Berger, 1962). Estudios llevados a cabo con posterioridad al de Berger (1962), mostraron también la idoneidad de utilizar 3 series (Kraemer et al., 2000; Rhea, Alvar, & Burkett, 2002a; Paulsen, Mykkestad, & Raastad, 2003; Rhea et al., 2003), mientras que otros autores no encontraron diferencias entre la realización de 1 o 3 series respecto a aumentos de fuerza e hipertrofia (Hass et al., 2000; Pinto et al., 2012; Radaelli et al., 2013). En el estudio llevado a cabo por Galvao y Taaffe, (2005), se observaron mayores ganancias de fuerza en los sujetos que realizaron 3 series por ejercicio al compararlos con aquellos que realizaron solamente 1 serie tras 20 semanas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Otros como Humburg et al., (2007), obtuvieron también mejores resultados entre los sujetos no entrenados (hombres y mujeres) que realizaron 3 series, en comparación con los que realizaron 1 serie durante un estudio llevado a cabo durante 9 semanas de entrenamiento de fuerza. En este trabajo, se obtuvieron mejoras significativas en el (1RM) de curl de bíceps, extensión de cuádriceps y press de banca, al comparar entre los grupos que entrenaron utilizando sólo 1 serie y los que utilizaron 3.

En otro trabajo llevado a cabo por Ronnestad et al., (2007), se analizaron los efectos de un entrenamiento de fuerza con sobrecargas aplicado a una muestra de 31 sujetos sin experiencia. El objetivo fue el de comparar las ganancias de fuerza e hipertrofia al utilizar 1 serie o múltiples series; (GE1= 1 serie de ejercicios para grupos musculares del hemicuerpo inferior y 3 series de ejercicios para grupos musculares del hemicuerpo superior n=10; GE2= 3 series de ejercicios para grupos musculares del hemicuerpo inferior y 1 serie de ejercicios para grupos musculares del hemicuerpo superior n=11). Los resultados en este caso fueron un tanto

contradictorios, pues se concluyó, que la realización de 3 series por grupo muscular del entrenamiento propuesto, fueron superiores a 1 serie, en referencia a las mejoras obtenidas en fuerza muscular y aumento de masa muscular (hipertrofia) del hemicuerpo inferior; sin embargo, no existieron diferencias en la musculatura del hemicuerpo superior al modificar el número de series. En otro estudio llevado a cabo por Radaelli et al., (2013), se demostró, sin embargo, que se producían ganancias de fuerza similares al utilizar 1 y 3 series por ejercicio, después de aplicar un protocolo de 12 semanas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en mujeres sin experiencia y con una edad comprendida entre los 60 y 74 años; en este tipo de población, parece que durante cortos períodos de tiempo, 1 serie por ejercicio puede ser suficiente para optimizar ganancias de fuerza, mientras que en otras poblaciones (sujetos entrenados), parecen ser necesarios periodos de entrenamiento más largos y mayores volúmenes (Radaelli et al., 2013).

Estudios referentes a sujetos no entrenados (Rhea et al., 2002a; Rhea et al., 2003) y moderadamente entrenados (experiencia igual o superior a 6 meses de entrenamiento con sobrecargas) (Rhea, Alvar, & Burkett, 2002b; Rhea et al., 2003; Wolfe, LeMura, & Cole, 2004), han demostrado, que realizar múltiples series (3 o 4 series por ejercicio), consiguen mayores aumentos en la fuerza en poblaciones no entrenadas y mejoras aún superiores en programas de entrenamiento de una duración intermedia o prolongada (programas de 17 a 40 semanas de duración). Al consultar los resultados obtenidos en otra investigación llevada a cabo por Krieger, (2010), en el que se compararon las mejoras en hipertrofia muscular al realizar 2-3 series con respecto a 4-6 series por grupo muscular, sólo se halló una tendencia a la significación, y no se hallaron tampoco diferencias significativas en cuanto al aumento de la misma.

Estudios llevados a cabo durante un periodo de tiempo más prolongado, apoyan la afirmación de que un aumento moderado en el volumen de entrenamiento es necesario para seguir mejorando (Borst et al., 2001; Rhea, Alvar, & Burkett, 2002b; Rhea et al., 2003; Wolfe, LeMura, & Cole, 2004). Un Metanálisis llevado a cabo por Peterson, Rhea y Alvar (2005), en el que se utilizaron 37 estudios, concluyó que realizar aproximadamente 8 series por grupo muscular, produce el mayor tamaño del efecto en atletas experimentados. Según Marshall, McEwen y Robbins (2011), las conclusiones de este meta-análisis se pudieron ver

afectadas por los pocos estudios que comparan el efecto de utilizar más de 3 series en las ganancias de fuerza e hipertrofia muscular durante períodos de entrenamiento de larga duración.

Algunos de los metanálisis consultados, muestran que la realización de múltiples series causan mayores incrementos en la fuerza y en la hipertrofia si se compara con los resultados obtenidos al llevar a cabo sólo 1 serie (Krieger, 2010; Peterson et al., 2010). Radaelli et al., 2015, critican la veracidad de los resultados obtenidos en estos metanálisis, concluyendo que no existen diferencias respecto a los incrementos de la fuerza y la hipertrofia muscular al utilizar series sencillas o múltiples (Radaelli et al., 2015).

En resumen, diferentes estudios (Capen, 1956; Berger, 1962; Mayhew & Gross, 1974; Coleman, 1977; Dudley & Djamil, 1985; Jacobson, 1986; Ostrowski et al., 1997; Peterson, Rhea, & Alvar, 2004; Peterson, Rhea, & Alvar, 2005), recomiendan a individuos principiantes en programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas, llevar a cabo de 1 a 3 series por ejercicio. Esta recomendación está en línea con la obtenida en un estudio llevado a cabo por Cadore et al., (2014), en el que se afirma que durante las primeras semanas de entrenamiento, 1 serie por ejercicio puede mejorar los valores de fuerza máxima en la misma medida que realizar 3 series por ejercicio, mientras que durante períodos más largos, 3 series por ejercicio pueden reportar más beneficios. Autores como Casagrande, de Salles y Trajano, (2017), recomiendan llevar a cabo un mínimo de 10 series semanales por grupo muscular para maximizar la hipertrofia muscular en sujetos no entrenados, con la posibilidad de realizar aumentos adicionales en el volumen con el objeto de producir mejores resultados. Además, afirman que el incremento de esta variable (volumen), se puede lograr de diferentes modos; incrementando el número de repeticiones por serie en cada sesión, el número de series por ejercicio, el número de ejercicios que focalizan sobre un mismo grupo muscular, la frecuencia (número de sesiones semanales de entrenamiento), o la intensidad de la carga de entrenamiento si todas las variables comentadas con anterioridad se quieren mantener constantes.

En cuanto a las recomendaciones para sujetos con niveles de entrenamiento intermedios o avanzados, los datos de estudios realizados más a largo plazo, indican que se deben usar varias series con una variación sistemática del volumen y de la intensidad a lo largo del tiempo (Kraemer, 1997; Kraemer et al., 2000;

Schlumberger, Stec, & Schmidtbleicher, 2001; Rhea et al., 2002a; Kemmler et al., 2004); recomendándose además, que para reducir el riesgo de sobreentrenamiento, no se debe realizar un aumento drástico en el volumen a corto plazo (ACSM, 2009).

El metanálisis de Schoenfeld, Ogborn y Krieger, (2017b), establece además, que si el objetivo principal es maximizar la respuesta hipertrófica en programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas, es necesario realizar un mínimo de 10 o más series semanales por grupo muscular.

#### **2.8.4. Frecuencia de entrenamiento en programas de entrenamiento de fuerza**

##### *2.8.4.1. Definición y características*

Una variable fundamental y que puede ser manipulada para producir los resultados deseados en programas de entrenamiento de fuerza, es la frecuencia de entrenamiento (Schoenfeld et al., 2015). La frecuencia del entrenamiento se define como el número de sesiones realizadas en un período de tiempo dado, y generalmente se expresa como sesiones por semana (Lloyd et al., 2014; Schoenfeld, Ogborn & Krieger, 2016a).

La frecuencia óptima del entrenamiento de fuerza con sobrecargas, depende de varios factores como el volumen, la intensidad, la selección de los ejercicios, el nivel de condición física, la capacidad de recuperación y el número de grupos musculares entrenados por sesión de entrenamiento (ACSM, 2009; Paz-Franco, Rey, & Barcala-Furelos, 2017 ).

##### *2.8.4.2. Principales frecuencias de entrenamiento utilizadas en programas de fuerza*

La mayoría de los trabajos de investigación realizados, han analizado los efectos de la frecuencia de entrenamiento comparando 1 sesión y 3 sesiones semanales en diferentes tipos de poblaciones (Candow & Burke, 2007; Benton et al., 2011; Lera Orsatti et al., 2014). También se han llevado a cabo estudios, que

han utilizado frecuencias de 2 a 3 sesiones alternas por semana en sujetos no entrenados (Coyle et al., 1981; Dudley et al., 1991; Hickson, Hidaka, & Foster, 1994; Candow & Burke, 2007). La utilización de 2 a 3 sesiones semanales, ha demostrado ser una frecuencia inicial efectiva para este tipo de población, mientras que 1 y 2 sesiones a la semana, parece ser una frecuencia de mantenimiento efectiva para aquellos sujetos con cierta experiencia en la realización de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas y que ya han conseguido ciertas adaptaciones hipertróficas (Graves et al., 1988). En otros estudios llevados a cabo por los mismos autores, éstos determinaron que la realización de 4 y 5 sesiones de entrenamiento semanales fueron más eficaces que 3 sesiones, y que 2 sesiones fueron superiores a 1 sesión, cuando el objetivo a conseguir fue el aumento de la fuerza máxima en los extensores de rodilla (Hunter, 1985; Graves et al., 1988).

La utilización de frecuencias de entrenamiento elevadas, parecen ser apropiadas para atletas con niveles altos de fuerza, mientras que la utilización de frecuencias más bajas, pueden ser adecuadas para sujetos iniciados, si se necesita aplicar un protocolo de desarrollo de la fuerza en la preparación física específica de un deporte, o si la parte del cuerpo que se desea desarrollar se utiliza activamente durante la competición (Derenne, Hetzler, & Buxton, 1996). Un aumento de la frecuencia de entrenamiento, no requiere necesariamente un cambio en la frecuencia a la hora de entrenar cada grupo muscular, pero podría coincidir con la alteración de otras variables agudas tales como la selección de los ejercicios, el volumen y la intensidad (Kraemer & Ratamess, 2004; ACSM, 2009; Dankel, Mattocks, & Jese, 2016); el aumento de la frecuencia de entrenamiento, podría conllevar también un mayor grado de especialización, por ejemplo, una mayor cantidad de ejercicios y de volumen por grupo muscular en concordancia con metas más específicas (Kraemer & Ratamess, 2004).

Las frecuencias de entrenamiento utilizadas por deportistas avanzados o experimentados varían considerablemente; siendo muy común la realización de rutinas divididas para la musculatura superior e inferior, además de entrenamientos que implican a todo el cuerpo (Fleck & Kraemer, 2005). Las rutinas divididas dobles (2 sesiones de entrenamiento diarias haciendo énfasis en diferentes grupos musculares), son también comunes durante el entrenamiento en este tipo de población (Hakkinen et al., 1988). Weightlifters avanzados y

culturistas, utilizan habitualmente altas frecuencias de entrenamiento, 4 o 5 sesiones semanales incluso más; frecuencias de hasta 18 sesiones semanales se han utilizado habitualmente en Weightlifters olímpicos (Kraemer & Ratamess, 2004); así, a través del estudio llevado a cabo por Raastad, Kirketeig y Wolf (2012), se mostró además evidencia preliminar, de que los powerlifters de élite que participaron en dicho estudio, experimentaron mayores adaptaciones musculares cuando el volumen total de entrenamiento se dividió en 6 en lugar de en 3 sesiones de entrenamiento semanales, tras las 15 semanas de duración del plan de entrenamiento.

#### *2.8.4.3. Efectos de la frecuencia de entrenamiento sobre la fuerza y la composición corporal*

En relación a la fuerza, parece que mayores frecuencias de entrenamiento (3 días por semana), obtienen mayores incrementos que frecuencias de entrenamiento más bajas (1 día por semana) en población mayor (Farinatti, da Silva, & Monteiro, 2013). Así, en una revisión llevada a cabo por Cadore et al., (2014) sobre el mismo tipo de población, los autores concluyeron que llevar a cabo 3 sesiones semanales de entrenamiento de fuerza con sobrecargas, utilizando un volumen moderado y una intensidad media-alta en poblaciones ancianas, parecen inducir mayores ganancias neuromusculares y cardiorrespiratorias que llevar a cabo 1 sólo sesión semanal.

En otro estudio realizado también con población mayor y llevado a cabo por DiFrancisco-Donoghue, Werner y Douris (2007), se obtuvieron sin embargo unos resultados diferentes en relación a la frecuencia de entrenamiento al llevar a cabo 1 o 2 sesiones de entrenamiento a la semana; en este estudio, no se observó ninguna interacción significativa entre tiempos de trabajo y resultados obtenidos al comparar entre grupos; tampoco se detectaron cambios significativos de fuerza entre los grupos que entrenaron 1 o 2 veces por semana tras las 9 semanas que duró el protocolo de entrenamiento propuesto. Los autores destacaron en referencia a este aspecto, que estos resultados proporcionan información relevante de cara a una mayor eficiencia a la hora de elaborar programas de entrenamiento de fuerza en poblaciones de adultos mayores. Estudios llevados a cabo por diversos autores (Graves et al., 1988; Hoffman et al., 1991; Derenne,



Hetzler, & Buxton, 1996), en la misma línea y para el mismo tipo de población, concluyeron que la realización de 1 o 2 sesiones de entrenamiento por semana, son igualmente efectivas para el desarrollo de la fuerza.

Por otro lado, Burt, Wilson y Willardson, (2007), compararon también las mejoras de fuerza logradas aplicando un entrenamiento con sobrecargas a dos grupos de mujeres sin experiencia, obteniendo en este caso resultados contradictorios. Una muestra total de 21 mujeres, fueron divididas aleatoriamente en dos grupos: Grupo 1 (n=10), realizó un programa de ejercicios de prensa para piernas 1 vez por semana y durante 8 semanas, utilizando una intensidad comprendida entre 6 y 10 RM, mientras que el grupo 2 (n=11), realizó el mismo protocolo 2 sesiones semanales. Los resultados de este estudio, indicaron que la realización de 1 o 2 sesiones de entrenamiento a la semana, no influye en los resultados a la hora de analizar las ganancias de fuerza en sujetos no entrenados, pues fueron estadísticamente similares en esta población analizada. Otro estudio similar al comentado anteriormente, llevado a cabo por Braith et al., (1989), y en el que se evaluó la fuerza isométrica del tren inferior, mostró también resultados un tanto contradictorios. Estos autores aplicaron a los 117 sujetos sedentarios ( $25,5 \pm 5$  años), que formaron parte del estudio, una serie con carga bilateral variable en los extensores de rodilla hasta la fatiga muscular utilizando una carga que permitiese llevar a cabo entre 7 y 10 RM. El protocolo se llevó a cabo dividiendo la muestra en tres grupos; un grupo llevó a cabo el protocolo durante 2 sesiones semanales, un segundo grupo lo llevó a cabo durante 3 días semanales, y un tercer grupo que se utilizó como grupo control. Entre las conclusiones, los autores destacaron que llevar a cabo este protocolo durante 2 días semanales, mejoraba significativamente la fuerza isométrica en extensión de rodilla. A su vez, la magnitud del aumento de fuerza, fue mayor al llevar a cabo el mismo protocolo de entrenamiento 3 días a la semana. Los datos indicaron, que 2 días de entrenamiento pueden derivar aproximadamente en el 80% de los beneficios obtenidos en fuerza isométrica, si se compara con los resultados obtenidos al aplicar el mismo protocolo durante 3 días semanales en este tipo de población.

Al llevar a cabo una revisión profunda sobre la literatura científica disponible asociada a las mejoras de fuerza producidas por la modificación de esta variable, encontramos que en varios estudios que compararon las ganancias de fuerza, 3 sesiones de entrenamiento por semana fueron superiores a 1 sesión

(McLester & Guilliams, 2000) y 2 sesiones (Graves et al., 1989). La realización de 3 sesiones de entrenamiento produjeron aumentos de fuerza similares a 2 sesiones a la semana cuando se equiparó el volumen (Candow & Burke, 2007). De igual forma, 4 sesiones a la semana fueron superiores a 3 (Hunter, 1985), 2 sesiones a la semana fueron superiores a 1 (Pollock et al., 1993), y 3-5 sesiones a la semana fueron superiores a 1 y 2 sesiones (McKenzie Gillam, 1981). Así, los datos obtenidos en algunos metanálisis han demostrado que los aumentos de la fuerza en individuos no entrenados, fueron mayores con la utilización de frecuencias comprendidas entre 2 y 3 sesiones a la semana (Rhea et al., 2003). Las recomendaciones, establecen que los sujetos principiantes que tomen parte en programas de entrenamiento de la fuerza con sobrecargas y cuyo objetivo fundamental sea el aumento de la fuerza, deben utilizar protocolos que focalicen sobre el desarrollo integral de todo el cuerpo, utilizando una frecuencia semanal de 2 a 3 sesiones (Coyle et al., 1981; Graves et al., 1989; Dudley et al., 1991; Hickson, Hidaka, & Foster, 1994; McLester & Guilliams, 2000; Rhea et al., 2003; Candow & Burke, 2007).

La composición corporal, y más concretamente los aumentos de la hipertrofia muscular y la disminución de la grasa, han sido las variables más analizadas tras aplicar distintos protocolos de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Relativamente pocos ensayos, apoyaron en su momento un efecto preferencial de una frecuencia por encima de otra con respecto a la hipertrofia muscular. Calder et al., (1994), compararon un entrenamiento de fuerza total (cuerpo completo), llevándolo a cabo 2 días a la semana, utilizando un protocolo en el que se realizó un entrenamiento dividido para el tren inferior y para el tren superior durante 10 semanas, en una población de mujeres jóvenes; en dicho estudio, se evaluó la masa muscular específica de todo el cuerpo a través de una Densitometría (DEXA), y los resultados mostraron que ambos grupos tuvieron incrementos similares en la masa muscular de los brazos mientras que el programa que utilizó el entrenamiento corporal total, también obtuvo incrementos en la masa muscular de las piernas. La masa muscular de todo el cuerpo aumento siguiendo dicho protocolo de entrenamiento, pero no se hallaron diferencias entre grupos. En la misma línea de resultados obtenidos, McLester y Guilliams (2000), aunque no hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las frecuencias de entrenamiento utilizadas en su estudio en relación al

aumento de la masa muscular, concluyeron que sí hubo una tendencia favorable del 8% entre el pre y el post test al comparar los resultados de 3 días a la semana, frente a una diferencia de sólo el 1% entre el pre y el post test, cuando se completó el entrenamiento 1 vez por semana.

En relación a la disminución de la grasa corporal, autores como Takeshima et al., (2004), concluyeron, que tras 12 semanas de entrenamiento de fuerza de intensidad moderada, realizando sesiones de aproximadamente 30 minutos, utilizando una relación tiempo de trabajo-tiempo de descanso 1:1 (30:30 segundos), y llevándolo a cabo con una frecuencia de 3 días semanales, se producía un descenso del 16% en la masa grasa en una población anciana. Investigaciones tales como la de Alcaraz et al., (2011), llevaron a cabo protocolos de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HRC) con 33 hombres sanos durante 8 semanas y con una frecuencia semanal de 3 sesiones, comparando las variables de estudio con un entrenamiento de fuerza tradicional (TS). En dicho estudio, se obtuvo una disminución significativa en el porcentaje de grasa corporal en el grupo HRC y un aumento de la masa magra en HRC y TS con la ventaja de que el grupo de entrenamiento en el que se aplicó HRC, utilizó un tiempo de trabajo mucho más reducido. Los autores Arazi y Asadi, (2011), no encontraron ninguna diferencia sustancial entre los grupos que entrenaron 1, 2 o 3 veces por semana en un programa de 8 semanas en el que se equiparó el volumen de entrenamiento para analizar los cambios producidos en la composición corporal; sin embargo, sólo los participantes que entrenaron 3 veces por semana mostraron incrementos estadísticamente significativos en el tamaño de la circunferencia de ambos brazos, y en la circunferencia del muslo. Bocalini et al., (2012), estudiaron el efecto de un entrenamiento en circuito de 12 semanas de duración, llevado a cabo con una frecuencia semanal de 3 sesiones, y con una relación tiempo de trabajo-descanso 1:1 (45:40 segundos); la duración de cada entrenamiento fue de 50 minutos, y la intensidad de trabajo fue baja (ya que realizaban los ejercicios con bandas elásticas). Estos autores observaron que el entrenamiento afectó de una forma diferente dependiendo del estado inicial de la composición corporal de los sujetos; así, la reducción de la masa grasa fue de un 4,6%, 11%, y 21,4% para participantes con un peso normal, con sobrepeso y con obesidad respectivamente.

En un meta-análisis llevado a cabo por Schoenfeld et al., (2016a), en el que se compararon estudios que investigaban programas de entrenamiento de fuerza modificando frecuencias (1 a 3 días semanales) con igual volumen, los autores llegaron a la conclusión de que entrenar con una frecuencia de entrenamiento de 2 días semanales, promovía mayor hipertrofia que llevarlo a cabo 1 sólo día semanal. Según estos autores, se puede inferir a la vista de los resultados obtenidos, que los principales grupos musculares deben ser entrenados al menos durante 2 sesiones semanales para maximizar el crecimiento muscular; quedando sin determinar por el momento, si entrenar un grupo muscular 3 veces por semana genera mejoras superiores que aplicar un mismo protocolo durante 2 sesiones semanales.

Respecto a trabajos encontrados que analizaron en su momento las modificaciones producidas por la utilización de una frecuencia semanal de entrenamiento u otra en fuerza y en composición corporal, encontramos estudios como el de Candow y Burke, (2007). Estos autores, afirmaron en su investigación, que los cambios producidos en la masa muscular y en la fuerza pueden variar dependiendo del volumen y de la frecuencia semanal de entrenamiento utilizada. En este trabajo, participaron dos grupos de entrenamiento, GE1 (n = 15; 12 mujeres, 3 hombres) y GE2 (n = 14; 11 mujeres, 3 hombres). Los grupos, llevaron a cabo un protocolo de entrenamiento utilizando diferentes frecuencias (2 o 3 días a la semana) y modificando el número de series (2 sesiones semanales: 3 series de 9 ejercicios y 10 repeticiones hasta la fatiga; 3 sesiones semanales: 2 series de 9 ejercicios y 10 repeticiones hasta la fatiga). Los investigadores, llegaron a la conclusión, de que el volumen de entrenamiento puede ser más importante que la frecuencia en el desarrollo de la masa muscular y la fuerza en hombres y mujeres que inician un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas, pues fue al aplicar diferentes volúmenes de entrenamiento, donde se obtuvieron diferencias significativas entre grupos.

Autores como Jones et al., (2013), concluyeron tras la realización de su investigación, que la aplicación de un protocolo de entrenamiento de fuerza utilizando 5 series de 6 repeticiones al 65% de la máxima contracción isométrica voluntaria, con un descanso de 3 minutos entre series, y con una frecuencia de realización de 3 sesiones semanales, podría considerarse como apropiado para conseguir adaptaciones significativas en la fuerza y la hipertrofia muscular en

personas no entrenadas. En otro trabajo en el que se analizó también la frecuencia de aplicación de un entrenamiento con sobrecargas llevado a cabo por Thomas y Burns, (2016), y en el que se analizó el incremento de la masa muscular y de la fuerza utilizando una alta frecuencia (3 sesiones semanales de entrenamiento llevando a cabo 3 series por grupo muscular y aplicando un entrenamiento de fuerza a alta intensidad) en comparación con una baja frecuencia (entrenamiento de cada grupo muscular 1 vez a la semana completando las 9 series preestablecidas durante la misma sesión de entrenamiento); estos investigadores hallaron que tras 8 semanas, no se produjeron diferencias significativas entre grupos ni en fuerza ni en composición corporal en las 7 mujeres y 12 hombres de una edad comprendida entre los 34.64 +/- 6.91 años y con experiencia (sujetos con más de 1 año de experiencia en la realización de entrenamientos de fuerza con sobrecargas), que participaron en el citado estudio.

#### 2.8.4.4. *Frecuencia de entrenamiento y sobreentrenamiento*

Una variable a tener muy en cuenta y que puede incidir de forma muy negativa en el rendimiento, es el denominado sobreentrenamiento. Existe evidencia, de que la utilización de frecuencias de entrenamiento muy altas para un mismo grupo muscular (diariamente), combinadas con altas intensidades de carga y ejecutadas a una alta rapidez de movilización, conducen a una disminución en el rendimiento provocando un estado de sobreentrenamiento (Fry et al., 1994); así, parece ser, que un incremento excesivo en la frecuencia del entrenamiento, puede resultar también en una atenuación de la fuerza y de la potencia muscular (Romero-Arenas et al., 2013a). Aunque los resultados de la investigación llevada a cabo por Fry et al., (1994), no pueden ser necesariamente extrapolados al hecho de entrenar un grupo muscular con menor frecuencia (digamos 3 días a la semana) a intensidades reducidas, los datos de este estudio sí indican una relación entre la frecuencia semanal de entrenamiento y el sobreentrenamiento. Puesto que como se ha podido apreciar con anterioridad, resultados de diversas investigaciones muestran que con la suficiente frecuencia, intensidad y volumen de trabajo, los diferentes métodos de entrenamiento de fuerza pueden inducir a buen ritmo una hipertrofia significativa (Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007); es concebible que periodizar el número de veces que un músculo se entrena a lo largo del tiempo y/o programar periodos

regulares utilizando frecuencias de entrenamiento reducidas cada pocas semanas (desalojamiento), podría ayudar a maximizar las ganancias musculares mientras se reduce la potencial aparición del sobreentrenamiento.

De cara a prevenir el sobreentrenamiento, habría que establecer una adecuada recuperación. Parece ser, que el nivel de entrenamiento previo al inicio de un programa de fuerza influye en las dosis necesarias y en la posible magnitud de la respuesta (Peterson, Rhea, & Alvar, 2005). En particular, en un estudio llevado a cabo por Hakkinen, (1995), y en el que participaron mujeres de diversas edades realizando ejercicios de fuerza con sobrecargas implicando al tren inferior, el autor concluyó, que tras llevar a cabo 5 series de 10 repeticiones con una carga de 10 RM, éstas sólo recuperaron aproximadamente el 94% de su fuerza dos días después de realizarlo; lo que demuestra, que individuos menos entrenados, pueden necesitar períodos de recuperación más largos. Autores como Kraemer y Ratamess, (2004), en la misma línea, afirman que el entrenamiento con cargas pesadas aumenta el tiempo de recuperación necesario antes de la realización de sesiones de entrenamiento posteriores, especialmente en ejercicios que implican grandes grupos musculares. Así, mientras que entrenamientos que precisen de una carga menor pueden requerir menos tiempo de recuperación, el uso de cargas extremadamente pesadas, especialmente cuando se realiza un entrenamiento excéntrico pesado, requieren un mínimo de 72 horas de recuperación entre sesiones.

Puesto que HRC ha demostrado producir modificaciones en parámetros asociados a la fuerza y a la composición corporal de una forma similar a otros programas de entrenamiento de fuerza utilizando un tiempo de trabajo más reducido (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Ramirez-Velez et al., 2016); y puesto que la frecuencia óptima de entrenamiento no se ha esclarecido por el momento (Wernbom, Augustsson, & Thomee, 2007; Schoenfeld et al., 2016a), se llevó a cabo el presente estudio con la finalidad principal de producir las mayores mejoras en fuerza y en composición corporal en sujetos no entrenados. Se espera, que al finalizar esta investigación, los sujetos no entrenados o con escasa experiencia en la realización de protocolos de entrenamiento de fuerza con sobrecargas, se vean altamente beneficiados; así como sujetos con poco tiempo para poder realizar su programa de entrenamiento

---

semanal y que pretendan conseguir unos patrones de mejora significativos en su composición corporal y en el rendimiento músculo esquelético del tren inferior.





## **III – HIPÓTESIS**



### III – HIPÓTESIS

#### 3.1. HIPÓTESIS GENERAL

1. Aplicar una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC, producirá un efecto positivo sobre la fuerza y la composición corporal, frente a la aplicación de una menor frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados.

#### 3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Emplear una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC, generará un incremento significativo de la fuerza isocinética en la flexo-extensión de la articulación de la rodilla, frente a la utilización de una menor frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados.
2. Utilizar una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC, producirá un aumento significativo de la masa libre de grasa, frente a la aplicación de una menor frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados.
3. Aplicar una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC, generará un descenso significativo del porcentaje de masa grasa y de la masa grasa total, frente a la aplicación de una menor frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados.



## **IV – OBJETIVOS**



## IV – OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

1. Analizar los efectos de un entrenamiento en circuito de alta intensidad aplicando diferentes frecuencias semanales, sobre la fuerza isocinética y la composición corporal en sujetos no entrenados.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar si aplicar una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC, produce un efecto positivo sobre la fuerza isocinética en la flexo-extensión de la articulación de la rodilla. Verificando además, si se producen diferencias entre grupos en dicha variable, frente a la aplicación de una menor frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados.
2. Determinar si la utilización de una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC con sujetos no entrenados, produce un efecto positivo sobre la masa libre de grasa entre el pre y el post-test y al comparar entre grupos, frente a la aplicación de una menor frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados.
3. Contrastar si la aplicación de una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC, produce un efecto positivo sobre el porcentaje de masa grasa y la masa grasa total entre el pre y el post-test y al comparar entre grupos, frente a la aplicación de una menor frecuencia semanal de entrenamiento en sujetos no entrenados.





## **V - MATERIAL Y MÉTODO**



## V - MATERIAL Y MÉTODO

En este apartado, se expone la metodología llevada a cabo durante el estudio a fin de conseguir los objetivos marcados y de intentar aclarar las hipótesis establecidas. Cuatro son los sub-apartados que le dan sentido: 1. Diseño experimental, 2. Participantes, 3. Protocolo de entrenamiento en circuito de alta intensidad, 4. Análisis estadístico. Se describen con detalle a continuación.

### 5.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño cuasi-experimental intra e inter-sujetos, multigrupo, con pre-test y post-test, y con grupo control. Se establecieron 3 grupos experimentales con una frecuencia de entrenamiento semanal diferente, y un grupo control (GC), que únicamente realizó el pre-test y el post-test. Ningún grupo modificó hábitos alimenticios ni hábitos de actividad física durante el periodo en el que tuvo lugar el estudio.

Dentro de los grupos experimentales, se establecieron los siguientes subgrupos:

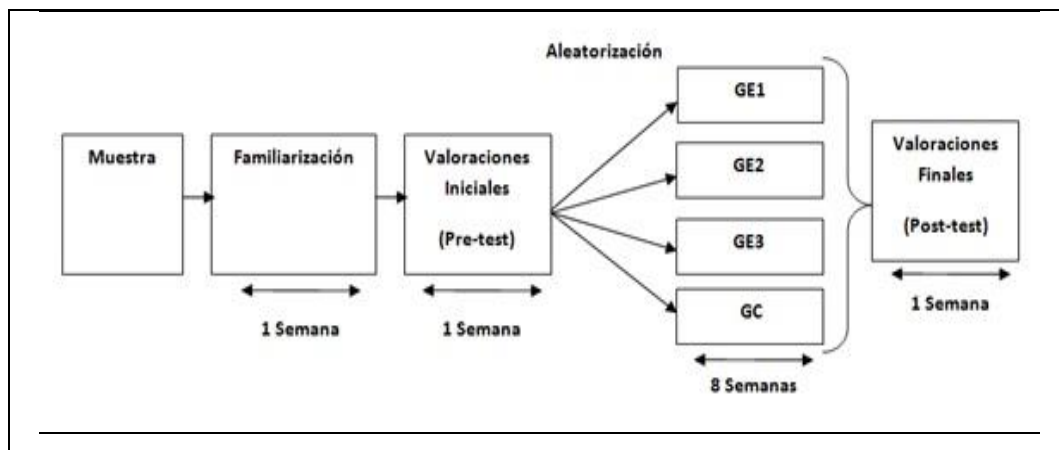
- Grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad de 1 sesión de entrenamiento semanal (GE1)
- Grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad de 2 sesiones de entrenamiento semanales (GE2)
- Grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad de 3 sesiones de entrenamiento semanal (GE3)
- Grupo Control. Sin entrenamiento de fuerza con sobrecargas (GC)

Tras las valoraciones iniciales, se realizó la distribución de los participantes a cada uno de los niveles de la variable independiente estratificando por edad, género, composición corporal y nivel de actividad física. Dicha distribución, se llevó a cabo formando grupos homogéneos y de forma que los participantes no tuvieran la posibilidad de interferir sobre la asignación a uno u otro grupo. Se plantearon dos niveles:

- Nivel 1. Programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito de alta intensidad, modificando el número de sesiones semanales de entrenamiento (GE1; GE2; GE3)
- Nivel 2. Sin entrenamiento, representado por el GC

Los pre-test, post-test, y los entrenamientos de todos los grupos, se llevaron a cabo en el Centro de Investigación en Alto Rendimiento Deportivo de la Universidad Católica de Murcia, donde se encontraban los instrumentos necesarios y el ambiente adecuado para realizar las pruebas. Tanto las valoraciones iniciales (pre-test), como finales (post-test), fueron realizadas por los mismos investigadores. Cada uno era responsable de una de las pruebas, encargándose de explicar la ejecución del test a los participantes, de hacer una demostración práctica (si fuera necesario), y de la recogida de los datos. Todos los instrumentos fueron calibrados convenientemente antes de las mediciones, atendiendo siempre a las indicaciones de los fabricantes.

La fase experimental tuvo una duración total de 11 semanas; siendo 1 semana de familiarización, 1 de pretest, 8 de entrenamiento y 1 de post-test (figura 2).



**Figura 2.** Diseño experimental

GE1: 1 sesión semanal; GE2: 2 sesiones semanales; GE3: 3 sesiones semanales; GC: Grupo Control.

### 5.1.1. Variable independiente

La variable independiente del presente estudio, quedó determinada por la aplicación de diferentes frecuencias de entrenamiento utilizando un protocolo HRC (1día vs 2 días vs 3 días semanales). La finalidad del método experimental aplicado, fue la de establecer relaciones causa-efecto de la variable independiente sobre las variables dependientes (composición corporal y fuerza isocinética de los flexo-extensores de la rodilla).

### 5.1.2. Variables dependientes

#### 5.1.2.1. Composición corporal

El análisis de la composición corporal se ocupa de la cuantificación de los componentes corporales, las relaciones cuantitativas entre los componentes y los cambios cuantitativos en los mismos (Wang, Pierson, & Heymsfield, 1992). Los cambios en la composición corporal cobran más interés cada día por su relevancia e implicaciones en el estado nutricional, en la capacidad funcional, así como a factores de riesgo que se asocian con el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas.

En el presente estudio, se estudiaron las siguientes variables:

- *Masa grasa total*: representa el contenido total de materia grasa de los participantes. Se expresó en kg.
- *Porcentaje de grasa corporal*: representa la materia grasa corporal en relación a la masa total del cuerpo. Se expresó como porcentaje.
- *Masa libre de grasa*: representa la masa no ósea y libre de grasa total que contiene el cuerpo ( $\text{masa corporal} - [\text{masa grasa} + \text{masa ósea}]$ ). Se expresó en kg.

Las variables dependientes mencionadas con anterioridad, fueron evaluadas por Densitometría Absorciométrica de energía dual de rayos-X (DEXA). El DEXA es el cálculo de la composición del cuerpo humano a través de la evaluación de las diferentes densidades. La masa libre de grasa (MLG), la masa grasa (MG) y el contenido mineral óseo (CMO), fueron calculados del análisis total del escáner del cuerpo completo. La MLG, se asumió como equivalente a la masa muscular. El instrumento utilizado para el análisis fue el densitómetro

modelo XR-46 (Nordland Corp., Fort Atkinson, WI, EEUU) (Figura 3), que fue calibrado al inicio de cada sesión, siguiendo las recomendaciones del fabricante, utilizando un fantoma con 77 combinaciones de hueso y tejido blando. El software utilizado para el análisis, fue el propuesto por el fabricante, Illuminatus DXA 4.4.0 (Visual MED, Inc. and Nordland a CooperSurgical Company). Antes de la realización de la Densitometría, se procedió a la medición de la estatura y de la masa corporal de los participantes. Para ello, se utilizó una báscula-tallímetro telescópico (SECA 778, Hamburgo, Alemania); en la medición de la estatura, el sujeto permaneció de pie, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro. A partir de esta posición, el sujeto realizó una inspiración profunda en el momento de la medición, manteniéndose en el *plano de Frankfort* (línea imaginaria que pasa por el borde inferior de la órbita ocular y por el punto más alto del conducto auditivo externo, paralelo al suelo y perpendicular al eje longitudinal del cuerpo). Para la masa corporal, se colocó al sujeto en el centro de la báscula, en posición estándar erecta y de espaldas al registro de la medida, sin que el cuerpo estuviera en contacto con nada a su alrededor.

Una vez los participantes fueron pesados y tallados, se dirigieron al densitómetro para ser escaneados en una posición supina con la menor ropa posible y sin ningún objeto metálico. Se advirtió a los participantes que no podrían realizar ningún movimiento durante el tiempo que el haz de rayos estuviera en marcha. El escáner de rayos-X realizó las exploraciones transversales moviéndose a intervalos de 1 cm desde la parte superior a la parte inferior del cuerpo. La Densitometría se realizó antes de cualquier medida de fuerza para minimizar los efectos de los cambios de fluidos.



**Figura 3.** Test de composición corporal (DEXA)

#### 5.1.2.2. Fuerza isocinética máxima

Se testó el movimiento de flexo-extensión del lado dominante en la articulación de la rodilla, utilizando un dinamómetro isocinético (Biodex Medical Systems 3, Shirley, N.Y. 11967, U.S.A) en contracción concéntrica a la velocidad angular de  $60^{\circ} \text{ s}^{-1}$  (Figura 4). Siguiendo las recomendaciones del fabricante, éste se calibró al comienzo de cada test, realizando también un test de corrección de la gravedad a cada participante para evitar los efectos de la misma sobre los resultados obtenidos.

Para este estudio, se utilizaron los datos obtenidos del torque pico concéntrico para efectuar el análisis a la velocidad angular de  $60^{\circ} \cdot \text{s}^{-1}$  (Lim et al., 2015; Noh et al., 2015).

- *Torque pico isocinético*: Torque pico concéntrico en la flexión/extensión de la articulación de la rodilla. Se expresó en Newton multiplicado por metro (N.m).
- *Torque pico isocinético relativo*: en la flexión/extensión de la articulación de la rodilla.
- *Trabajo Total*: en la flexión/extensión de la articulación de la rodilla.
- *Potencia Media isocinética*: en la flexión/extensión de la articulación de la rodilla.



**Figura 4.** Test de dinamometría isocinética

Los participantes, previo a la valoración de la fuerza isocinética, realizaron un calentamiento normalizado que consistió en 5 minutos de activación vegetativa sobre un cicloergómetro, y 5 minutos de estiramientos dinámicos del tren inferior y superior. Tras este calentamiento, se posicionaron sobre la silla con el respaldo fijado a  $100^\circ$ , sujetos por la cintura, los hombros y la parte distal del brazo, para evitar el movimiento del cuerpo. Los sujetos realizaron como calentamiento específico, una serie de 3 contracciones máximas en extensión y flexión de rodilla a la velocidad angular de  $60^\circ \text{ s}^{-1}$ . Finalizado el calentamiento y tras 15 segundos de recuperación, los sujetos fueron instruidos para generar la máxima fuerza y a la máxima velocidad posible hasta completar toda la serie.

Para la realización del test, se utilizó el eje rotacional de la articulación de la rodilla para la flexo-extensión. El rango articular fue de  $85^\circ$  (flexión) a  $10^\circ$  (extensión), siendo  $0^\circ$  extensión completa.

### 5.1.3. Variables control

Con el fin de mantener constantes los factores que pudieran afectar a las variables dependientes, se establecieron las siguientes variables de control: 1. Nivel de actividad física extra. 2. Dieta. 3. Asistencia a los entrenamientos.



1. *Nivel de actividad física extra:* Para cuantificar la actividad física diaria de cara a la estratificación de los grupos, y ubicar a los sujetos en cada uno de los grupos previo a la realización de la investigación, se utilizó el cuestionario global de actividad física (GPAQ) (Armstrong, 2006). Se insistió a los participantes, que debían mantener sus hábitos diarios durante el periodo en el que tuviera lugar la investigación.

2. *Dieta:* Los sujetos fueron instruidos para mantener hábitos diarios alimentarios y de actividad física a lo largo de todo el estudio. Se realizaron test de control mediante cuestionario de recuerdo 24h (2 laborales y 1 festivo), en las semanas 1, 4 y 8 (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Alcaraz et al., 2011). Los resultados obtenidos de dichos cuestionarios fueron analizados verificando la cantidad total media de calorías, hidratos de carbono, grasas y proteínas (tabla 1), utilizando el software Diet Source 3.0 (Novartis, Barcelona, España)

**Tabla 1.** Kilocalorías y porcentajes de macronutrientes

GRUPOS	PromKcal	PromHHCC%	PromLip%	PromProt%
GE1 (n=11)	2203,8 ± 559,6	40,4 ± 5,1	40,4 ± 4,1	17,7 ± 2,3
GE2 (n=11)	2158,7 ± 414,0	44,7 ± 6,7	32,8 ± 3,9	20,9 ± 6,3
GE3 (n=9)	1674,5 ± 335,1	44,1 ± 8,0	32,1 ± 5,3	22,0 ± 4,4
GC (n=8)	1992,3 ± 371,7	48,8 ± 7,3	31,8 ± 8,8	19,3 ± 3,4

GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; n= tamaño de la muestra; PromKcal= promedio de kilocalorías de las tres mediciones realizadas; PromHHCC%: promedio de hidratos de carbono de las tres mediciones realizadas expresado en porcentaje; PromLip%: promedio de lípidos de las tres mediciones realizadas expresado en porcentaje; PromProt%: promedio de proteínas de las tres mediciones realizadas expresado en porcentaje.

3. *Asistencia a los entrenamientos:* Se controló el número de sesiones de entrenamiento que realizaron los participantes a través de personal colaborador, y se registró a través de un diario control de asistencia. Se estableció como requisito, que los participantes asistieran al 90% del total de sesiones planteadas en las 8 semanas que duró el programa. Se excluyeron todos los participantes que faltaron al entrenamiento más de un 10% del total de sesiones,

independientemente de la causa que lo produjera y en función del número de sesiones establecidas acorde al grupo de entrenamiento en el que se encontrasen.

## 5.2. PARTICIPANTES

Sujetos sanos sin experiencia en entrenamiento de fuerza con sobrecargas ( $22,2 \pm 0,5$  años;  $168,2 \pm 5,8$  cm;  $70,6 \pm 3,3$  kg) estudiantes de primero, segundo, tercero y cuarto curso del Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Católica de Murcia. La selección de la muestra, se realizó de forma estratificada no probabilística de conveniencia, y se intentó ubicar el mismo número de mujeres en cada uno de los grupos. Los sujetos interesados en participar en el estudio, atendieron voluntariamente al llamamiento de los investigadores.

A todos los interesados, se les informó verbalmente y por escrito de las actividades a realizar, de las características de los protocolos, contraindicaciones de los test, beneficios del entrenamiento, posibles lesiones, y responsabilidad de los investigadores. Además, se les explicó que en cualquier momento podrían abandonar el estudio, si así lo deseaban, sin tener que dar ningún tipo de justificación y sin que ello desencadenara perjuicio alguno para su persona. Tras la explicación, cumplieron un consentimiento informado (Anexo 1), que fue firmado por todos los participantes antes de comenzar. En el mismo, se detalló que el estudio se iba a desarrollar de acuerdo a la Declaración de Helsinki de 2001, y que se habían tenido en cuenta todos los aspectos éticos exigidos por el Comité Ético de la Universidad Católica de Murcia.

En el presente estudio, participaron finalmente 39 sujetos (hombres y mujeres), de un total de 61 que se reclutaron inicialmente. De los 61 participantes, 6 rechazaron seguir participando en la investigación después de la entrevista inicial debido a incompatibilidad de horario, 6 debido a la propuesta de estratificación de los grupos, y 10 sujetos fueron eliminados del estudio debido a la acumulación de faltas de asistencia a lo largo de las 8 semanas de entrenamiento. Los sujetos que participaron en la investigación (tras la realización de los test iniciales de nivel de condición física (GPAQ) y análisis del porcentaje

de grasa, se asignaron de forma estratificada por conveniencia para formar parte de uno de los cuatro grupos de la investigación GE1 (n = 14), a GE2 (n = 14), GE3 (n = 12), GC (n=9). Al finalizar el estudio, y debido a la muerte experimental, el número de participantes que quedó en cada grupo fue el siguiente: GE1 (n = 11), a GE2 (n = 11), GE3 (n = 9), GC (n = 8). Ninguno de los sujetos abandonó el programa como consecuencia de lesiones o reacciones adversas al entrenamiento. Las características generales de los sujetos, se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2.** Características generales de los grupos de entrenamiento

GRUPOS	Edad (Años)	Talla (cm)	Peso (Kg)	Sexo (M o F)
GE1 (n=11)	22,3 ± 1,8	171,3 ± 9,0	70,1 ± 11,0	7 M y 4 F
GE2 (n=11)	22,8 ± 3,3	171,1 ± 8,2	66,1 ± 9,8	8 M y 3 F
GE3 (n=9)	21,7 ± 1,8	175,9 ± 8,6	73,7 ± 17,5	7 M y 2 F
GC (n=8)	22,1 ± 1,6	170,7 ± 7,7	72,3 ± 12,6	5 M y 3 F
<b>TOTAL (N=39)</b>	22,2 ± 2,1	168,2 ± 8,3	70,6 ± 1,7	27 M y 12 F

GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; n= tamaño de la muestra; N= población entera; M= Sexo masculino; F= Sexo femenino.

### 5.2.1. Criterios de inclusión

El requisito inicial establecido para la selección de los participantes fue que los participantes tuvieran una edad comprendida entre los 20 y los 30 años, que no tuvieran ninguna enfermedad o limitación que les impidiera participar en el estudio, y que fueran estudiantes del Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

### 5.2.2. Criterios de exclusión

Debido al carácter específico del proyecto y al programa de ejercicio físico en el que los sujetos iban a participar, se establecieron los siguientes criterios de exclusión:

- Antecedentes personales de patologías cardiovasculares, neurológicas, respiratorias o musculo-esqueléticas, que les incapacitara para la realización de cualquier tipo de actividad física.

- Haber estado realizando algún tipo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas durante los 6 meses previos al estudio.
- La toma de ayudas ergogénicas que pudieran afectar o interferir con el programa de entrenamiento.

### 5.3. PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO EN CIRCUITO DE ALTA INTENSIDAD (HRC)

Los 3 grupos experimentales sometidos al entrenamiento propuesto, llevaron a cabo el mismo protocolo. El GC, no realizó ningún tipo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas durante las 8 semanas en las que se llevó a cabo el estudio. Se determinó llevar a cabo el protocolo de entrenamiento durante 8 semanas, basándonos en la investigación que llevaron a cabo Candow y Burke, (2007), en la que demostraron, que los aumentos en la masa muscular podían observarse a partir de las 6 semanas, en adultos no familiarizados con programas de entrenamiento de fuerza. Asimismo, se utilizó una combinación de contracciones musculares concéntricas (1 segundo de duración) y excéntricas (3 segundos de duración), buscando la máxima efectividad para el aumento de la hipertrofia muscular (Hather et al., 1991; Schoenfeld et al., 2017c). Se utilizó la carga de 6 RM para este estudio, debido fundamentalmente a que múltiples metanálisis han identificado que las ganancias máximas en fuerza se producen con un entrenamiento superior al 60% de 1RM en individuos entrenados y no entrenados, aunque la intensidad óptima es mayor en los entrenados (Rhea et al., 2003; Peterson, Rhea, & Alvar, 2005).

Durante la semana 1 (familiarización), los participantes realizaron 3 sesiones de entrenamiento. Durante estas sesiones, los sujetos aprendieron la correcta realización de los ejercicios así como la velocidad de ejecución de los mismos según el protocolo establecido. Posteriormente, en la semana 2 (valoraciones iniciales), se mostraron ciertas pautas que debían seguir los participantes antes y durante la realización de las evaluaciones: llevar ropa deportiva, y calzado cómodo. A continuación, se llevaron a cabo las mediciones de composición corporal y de fuerza isocinética del tren inferior.

En la semana 3, los sujetos utilizaron para el entrenamiento, una carga que no excedió de 10 Repeticiones Máximas (10 RM) en todos los ejercicios, pues no se trataba de sujetos experimentados y se consideró necesaria la incorporación de una fase de adaptación. En la semana 4, (semana de carga progresiva), utilizaron cargas que no excedieron de las 8 Repeticiones Máximas (8 RM); al igual que hicieron en la primera semana (familiarización) y en la tercera semana (10RM), los sujetos consolidaron el aprendizaje del protocolo y se aumentaron las cargas. A partir de la tercera semana, y hasta el final del programa de entrenamiento (6 semanas finales), se utilizó una carga cuantificada de 6 Repeticiones Máximas (6 RM), con series ondulatorias a lo largo de todo el proceso. Para la determinación del 6RM y previo a su utilización en la tercera semana de entrenamiento, se incitó a los sujetos a completar las máximas repeticiones posibles teniendo como referencia la carga utilizada en la semana de carga progresiva (8 RM). En base a las repeticiones máximas realizadas, se modificaba la carga en  $\pm 2\%$  si realizaban  $\pm 1$  repetición y  $\pm 5\%$  si realizaban  $\pm 2$  repeticiones diferentes al 6RM (Baechle & Croves, 1998).

### 5.3.1. Calentamiento

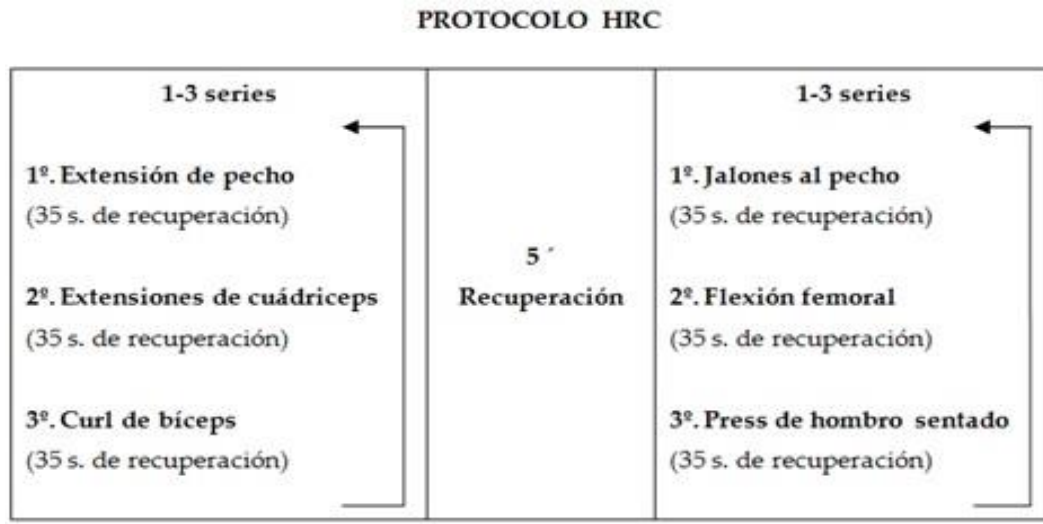
El calentamiento consistió en la realización de una parte general, con 5 minutos trotando en tapiz rodante a 7,5 Km/h y utilizando una pendiente del 1%. Posteriormente, se realizaron ejercicios de movilidad articular de los principales grupos musculares implicados en la sesión: cuádriceps, isquiosurales, dorsal, pectoral, deltoides y bíceps braquial. Una vez finalizada esta parte, se realizaron 5 minutos de estiramientos activos de los grupos musculares implicados en el entrenamiento. Para la realización de esta parte del calentamiento, los sujetos imitaban los estiramientos que los monitores realizaban con el objeto de seguir en todo momento el protocolo establecido (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008; Alcaraz et al., 2011). En la parte específica, los sujetos realizaron una primera serie de calentamiento específico de 10 repeticiones al 50% del 6 RM calculado. Para la medición de esta carga, ésta se ajustaba en función de las cargas movilizadas en la sesión anterior recogidas en una planilla de control de cargas (Tabla 4), y se le calculaba el 50% a dicha carga. Posteriormente, los sujetos descansaban durante 1 minuto y pasaban a realizar una segunda serie de

calentamiento al 6 RM calculado, realizando el mayor número de repeticiones posible (repeticiones máximas) de los tres ejercicios del bloque 1 (Bloque I: extensión de pecho en máquina de polea desde sentado (pectoral), extensiones de cuádriceps (cuadriceps) y bíceps en polea (bíceps braquial).

### 5.3.2. Entrenamiento

Una vez finalizada la parte de calentamiento general y específico, los sujetos realizaban la primera serie de entrenamiento del bloque de ejercicios 1 (extensión de pecho en máquina con polea desde sentado, extensiones de cuádriceps y bíceps en polea). Tras la ejecución del bloque I de ejercicios, los participantes descansaban 5 minutos y realizaron directamente el protocolo de entrenamiento del bloque II de ejercicios (jalón al pecho (dorsal), flexión de rodilla en máquina sentado (isquiosurales), y press de hombro sentado (deltoides) sin realizar protocolo de calentamiento previo, pues no se consideró necesario. Aproximadamente 35 segundos separaban cada ejercicio, tiempo suficiente para permitir trasladarse de un ejercicio a otro de manera segura (Willardson, 2006b). Los participantes fueron supervisados en todo momento por instructores experimentados para asegurar que la fatiga voluntaria se conseguía de forma segura y que el control del descanso fuera estricto. Fue demostrado en su momento, que la supervisión directa durante la realización de programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas es vital para optimizar adaptaciones de rendimiento en fuerza (Mazzetti & Volek, 2000).

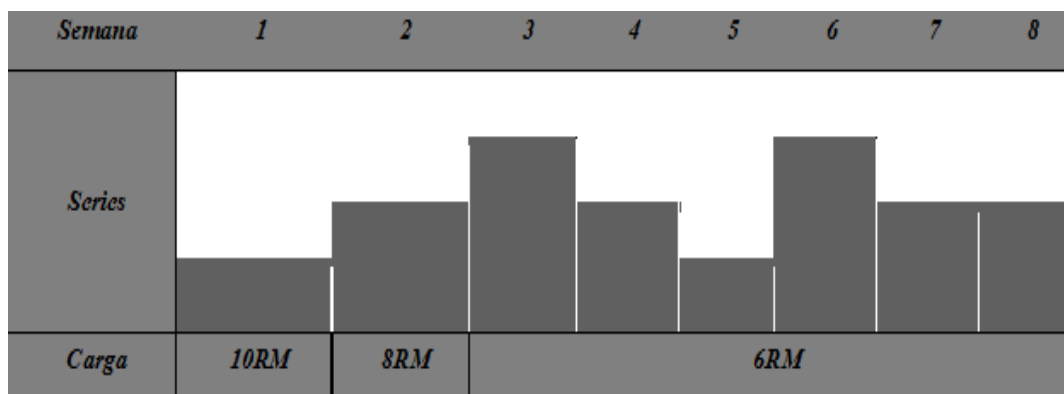
Se muestra a continuación a modo de soporte, el protocolo HRC utilizado durante el estudio (figura 5).



**Figura 5.** Protocolo HRC utilizado durante el estudio  
 HRC= High Intensity Resistance Circuit Training; ´: minutos; s= segundos

**5.3.3. Periodización**

En la figura 6, puede observarse tanto el número de series, como la carga utilizada durante el entrenamiento. Destacar, que el protocolo desarrollado por los diferentes grupos, solamente se diferenció en el número de sesiones de entrenamiento, y éstas variaron en función de la semana que se tratase, pues se utilizó una periodización ondulatoria (Grgic et al., 2017b).



**Figura 6.** Periodización ondulatoria utilizada durante el entrenamiento  
 RM= 1Repetición Máxima

En la tabla 3, puede observarse además la diferencia en el número de sesiones, series y repeticiones (volumen), en función de la frecuencia semanal de entrenamiento utilizada.

**Tabla 3.** Volumen de entrenamiento utilizado durante el estudio

GRUPOS	FrecSemEnt	NumSesTot	NumSerTot	NumRepTot
GE1 (n=11)	1	8	16	624
GE2 (n=11)	2	16	32	1248
GE3 (n=9)	3	24	48	1872
GC (n=8)	0	0	0	0

GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control;; n= tamaño de la muestra; FrecSemEnt= Frecuencia semanal de entrenamiento por sesiones; NumSesTot= número de sesiones totales de entrenamiento; NumSerTot= número de series totales de entrenamiento; NumRepTot= número de repeticiones totales de entrenamiento.

En la figura 7, se muestran los ejercicios de fuerza con sobrecargas en máquinas de musculación utilizados durante el estudio.

En la figura 8, se muestra el tiempo total de entrenamiento utilizado por los grupos sometidos al entrenamiento propuesto; éste varió entre 35 minutos (si se realizaba sólo 1 serie), y 47 minutos (si se realizaban 3 series). Asimismo, se aprecia la estructura que siguieron todos los grupos sometidos al protocolo establecido (ejercicios, series, repeticiones y descansos utilizados durante el entrenamiento).





**Press de Pecho (Pectoral)**  
**Ejercicio número 1**



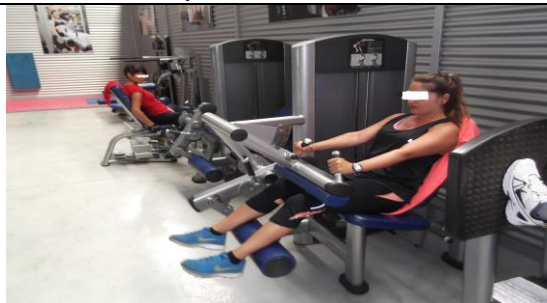
**Extensión de cuádriceps (Cuádriceps)**  
**Ejercicio número 2**



**Curl de bíceps en polea (Bíceps braquial)**  
**Ejercicio número 3**



**Jalones al pecho (Dorsal ancho)**  
**Ejercicio número 4**



**Flexión Femoral (Isquiosurales)**  
**Ejercicio número 5**



**Press de hombro (Deltoides)**  
**Ejercicio número 6**

**Figura 7.** Participante en una sesión de entrenamiento



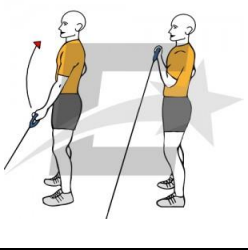
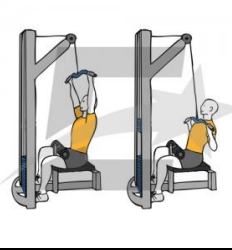

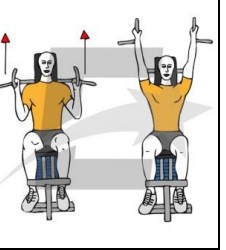


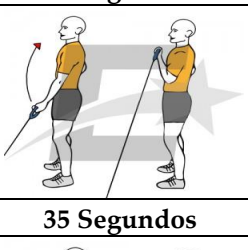


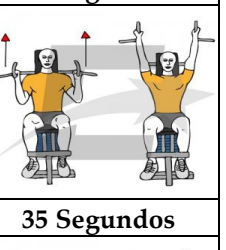






<b>3 SERIES</b>	<b>2 SERIES</b>	<b>1 SERIE</b>				<b>5 MINUTOS</b>			
			<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>		<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>
									
	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>		<b>35 Segundos</b>		
									
	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>	<b>35 Segundos</b>		<b>35 Segundos</b>		

Figura 8. Dinámica de la sesión de entrenamiento HRC

Para llevar a cabo el control de las cargas, el instructor utilizó una planilla como la que se muestra en la Tabla 4; en dicha planilla, se anotaba la carga de cada ejercicio durante el entrenamiento con el objeto de poder ajustarla tras el calentamiento en caso de que hubiese aumentado o disminuido en cada uno de los grupos musculares a trabajar. El instructor de apoyo, que siempre estaba junto al sujeto que estaba realizando el entrenamiento, verificaba que todo el protocolo se cumpliera según lo establecido.

**Tabla 4.** Hoja de control y ajuste de cargas de entrenamiento

SEMANA N°:	SESIÓN DE ENTRENAMIENTO N°:	
EJERCICIO	CARGA	AJUSTE
PRESS DE PECHO		
EXTENSIÓN FEMORAL		
BÍCEPS CON POLEA		
JALÓN EN MÁQUINA		
CURL FEMORAL		
PRESS DE HOMBRO		

La carga de 6RM fue ajustada para las series posteriores, aumentando en un 2% si los participantes realizaban 1 repetición más, o en un 5% si los sujetos realizaban 2 repeticiones más durante la serie (regla del 2 por 2) (Baechle & Croves, 1998).

De igual modo, el instructor utilizó una planilla complementaria a la anterior (tabla 5). En esta planilla, además de anotar las cargas utilizadas en cada ejercicio durante el entrenamiento, se podía llevar a cabo un seguimiento y evolución de las mismas sesión a sesión, y semana a semana. Finalizado el programa de entrenamiento de 8 semanas, los monitores colaboradores, entregaron al investigador principal las dos planillas con el control de las cargas, para proceder a su análisis.

**Tabla 5.** Control de cargas de entrenamiento en circuito de alta intensidad

SEMANA	DÍA	CARGA	SERIES	PRESS PECHO	EXT. FEMORAL	BICEPS	JALÓN	CURL FEMORAL	PRESS MILITAR
1	1	10 RM	1	45 kg	40 kg	25 kg	60 kg	35 kg	30 kg
	2		1						
	3		1						
2	1	8 RM	2						
	2		2						
	3		2						
3	1	6 RM	3						
	2		3						
	3		3						
4	1	6 RM	2						
	2		2						
	3		2						
<b>OBSERVACIONES:</b>									
5	1	6 RM	1						
	2		1						

	3		1						
6	1	6 RM	3						
	2		3						
	3		3						
7	1	6 RM	2						
	2		2						
	3		2						
8	1	6 RM	2						
	2		2						
	3		2						

#### 5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tanto el registro como el almacenamiento de los datos, se llevaron a cabo utilizando la hoja de cálculo Excel 2007. El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo utilizando el paquete informático SPSS 15.0 (Chicago, IL. EEUU) para el entorno de Windows. Se realizó un análisis descriptivo de las variables y los valores se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar. De forma previa a la realización del análisis inferencial, y una vez que los sujetos fueron divididos atendiendo a su nivel de actividad física, composición corporal y sexo, en 3 grupos de entrenamiento (GE), y en un grupo control (GC), se llevó a cabo el test de Shapiro Wilk con el fin observar la normalidad de la distribución muestral, y el de Levene para observar la homogeneidad de la muestra. Para conocer el efecto de la variable independiente sobre las variables dependientes, se realizó un ANOVA de medidas repetidas para toda la muestra por variable. Si había diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ), se realizó un ANOVA de medidas repetidas de cada grupo con el fin de establecer diferencias entre el pre-test y pos-test. Asimismo, se realizó un análisis de varianza con un factor ANOVA y la prueba Post Hoc de Bonferroni, para conocer si se producían diferencias significativas entre grupos. El nivel de significación estadística se fijó en  $p \leq 0,05$  y un valor de  $p \leq 0,10$  para tendencia a la significación.





## **VI - RESULTADOS**



## VI - RESULTADOS

El estudio fue completado finalmente por 39 participantes. En cada grupo, el número de sujetos quedó como sigue: GE1 n= 11, GE2 n= 11, GE3 n= 9 y GC n=8. Ninguno de los sujetos dejó el programa a raíz de daños o respuestas adversas al entrenamiento. Se muestran a continuación los resultados obtenidos de las variables analizadas (Fuerza Isocinética Máxima y Composición Corporal).

### 6.1. FUERZA ISOCINÉTICA MÁXIMA

En las tablas 6 y 7, se muestran los resultados de las distintas variables asociadas a la fuerza isocinética para los grupos de entrenamiento y para el grupo control, en el pre y en el post test. Se analizó el torque pico concéntrico en la flexión/extensión de la rodilla a la velocidad angular de  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ . El análisis estadístico, reveló que se produjo un incremento estadísticamente significativo en los valores de fuerza en la extensión y flexión de la rodilla en todos los grupos sometidos al estudio excepto en GC y en la gran mayoría de las variables sometidas a medición. Se muestran los valores expresados con el valor de  $p$  de cada una de las variables analizadas en las que se obtuvo significación estadística.

- GE1: Se obtienen mejoras en todas las variables analizadas en extensión de rodilla ( $p < 0,001$ ), y en flexión de rodilla ( $p < 0,001$ ).
- GE2: Se obtienen mejoras en todas las variables analizadas en extensión ( $p < 0,001$ ), y en las variables de torque pico en flexión de rodilla ( $p < 0,006$ ) y torque pico relativo en flexión de rodilla ( $p < 0,008$ ).
- GE3: Se obtienen mejoras con tendencia a la significación en el torque pico relativo en extensión de rodilla ( $p < 0,088$ ), y significativos en el trabajo total en extensión de rodilla ( $p < 0,035$ ). En cuanto a las variables analizadas en flexión en la misma articulación, sólo se obtienen mejoras significativas en el torque pico ( $p < 0,029$ ), y en el torque pico relativo ( $p < 0,029$ ).

- GC: No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el grupo control, entre el pre y el post-test, en la flexión/extensión de la rodilla a la velocidad angular analizada ( $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ ).

Al comparar los resultados obtenidos entre grupos, no se observaron diferencias significativas al llevar a cabo el análisis estadístico Post-Hoc de Bonferroni, aunque se hayaron ciertas diferencias ( $p < 0,05$ ) y con tendencia a la significación ( $p < 0,10$ ) entre GE1, GE2 y GC en extensión. Las diferencias obtenidas, se muestran a continuación:

- Se observa una diferencia estadísticamente significativa en el torque pico de rodilla en extensión al comparar GE2 y GC, con un valor ( $p < 0,009$ ).
- Se observa una diferencia estadísticamente significativa en el torque pico relativo de rodilla en extensión, al comparar GE2 y GC, con un valor ( $p < 0,009$ ).
- Se observa una diferencia estadísticamente significativa en el trabajo total de rodilla en extensión, al comparar GE2 y GC, con un valor ( $p < 0,006$ ).
- Se observa una diferencia estadísticamente significativa en la potencia media de rodilla en extensión, al comparar GE1 y GC con un valor ( $p < 0,054$ ).
- Se observa una diferencia estadísticamente significativa en la potencia media de rodilla en extensión al comparar GE2 y GC con un valor ( $p < 0,005$ ).

**Tabla 6.** Resultados de variables en test de fuerza isocinética de *extensión* de rodilla

		TP <sub>e</sub>	TPR <sub>e</sub>	WT <sub>e</sub>	PM <sub>e</sub>
GE1 n= 11	Pre	157,1 ± 30,6	2,3 ± 0,3	166,5 ± 28,3	101 ± 21,3
	Post	175,6 ± 34,6 †	2,5 ± 0,3 †	194,1 ± 33,2 †	121,8 ± 24,3 †*
	Δ	18,5	0,2	27,6	20,7
GE2 n= 11	Pre	168,7 ± 36,9	2,5 ± 0,3	178,6 ± 38,5	114,1 ± 29,0
	Post	198,9 ± 47,8 †*	2,9 ± 0,3 †*	217,4 ± 53,7 †*	141,1 ± 38,5 †*
	Δ	30,3	0,4	38,8	27,0
GE3 n= 9	Pre	183,2 ± 38,8	2,5 ± 0,3	199,5 ± 42,4	124,4 ± 26,5
	Post	195,5 ± 42,7	2,7 ± 0,4 α	221,1 ± 42,8 †	135,6 ± 29,2
	Δ	12,3	0,2	21,6	11,2
GC n= 8	Pre	183,4 ± 32	2,6 ± 0,5	188,8 ± 33,7	123,2 ± 24,8
	Post	181 ± 36,3	2,6 ± 0,5	189,8 ± 36,3	121,1 ± 28,8
	Δ	-2,4	0,0	1,0	-2,2

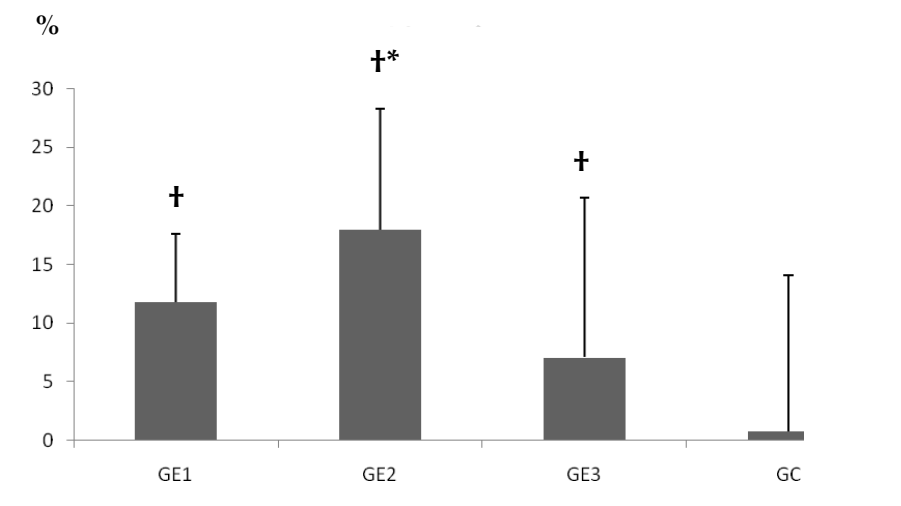
GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; n= tamaño de la muestra; TP<sub>e</sub>= torque pico en extensión; TPR<sub>e</sub>= torque pico relativo en extensión; WT<sub>e</sub>= trabajo total en extensión; PM<sub>e</sub>= potencia media en extensión; †: Diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre test y el post test.\*: Diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre grupo de entrenamiento y grupo control; α = Tendencia a la significación ( $p \leq 0,10$ ) entre el pre test y el post test.

**Tabla 7.** Resultados de variables en test de fuerza isocinética de *flexión* de rodilla

		TP <sub>f</sub>	TPR <sub>f</sub>	WT <sub>f</sub>	PM <sub>f</sub>
GE1 n= 11	Pre	81,4 ± 20,5	1,2 ± 0,2	97,6 ± 22,7	56,2 ± 14,7
	Post	95,4 ± 21,4 †	1,4 ± 0,2 †	115,6 ± 26,7 †	69,5 ± 15,3 †
	Δ	13,9	0,2	18,0	13,4
GE2 n= 11	Pre	87 ± 23,9	1,3 ± 0,2	106,8 ± 41,4	65 ± 29,3
	Post	99,1 ± 29,1 †	1,4 ± 0,2 †	117,2 ± 37,9	73,1 ± 24,4
	Δ	12,2	0,1	10,4	8,1
GE3 n= 9	Pre	90 ± 26,7	1,2 ± 0,3	109,9 ± 34,5	63 ± 19,4
	Post	107,3 ± 32,2 †	1,5 ± 0,3 †	125,9 ± 38,5	73,8 ± 23
	Δ	17,3	0,3	16,1	10,8
GC n= 8	Pre	92,7 ± 24,0	1,3 ± 0,3	103,6 ± 24,4	64,3 ± 19,6
	Post	103,4 ± 31,5	1,5 ± 0,5	112,9 ± 26,3	71,5 ± 22,2
	Δ	10,8	0,2	9,3	7,2

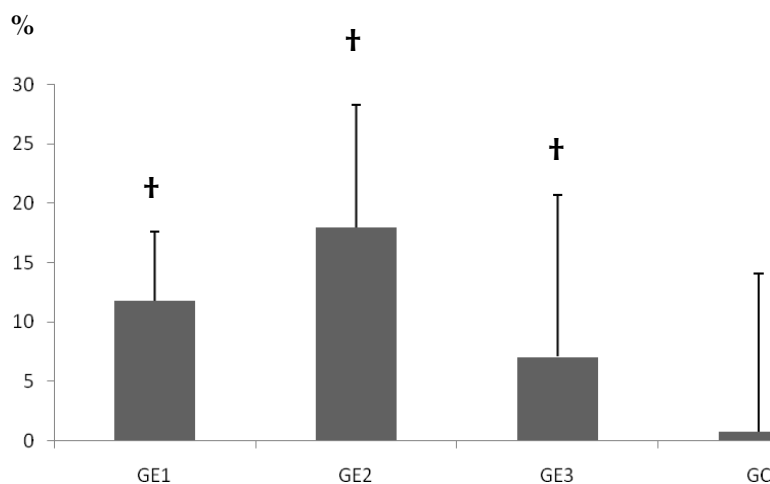
GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; n= tamaño de la muestra; TP<sub>f</sub>= torque pico en flexión; TPR<sub>f</sub>= torque pico relativo en flexión; WT<sub>f</sub>= trabajo total en flexión; PM<sub>f</sub>= potencia media en flexión; †: diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre test y el post test.

Asimismo, en las figuras 9 y 10, se muestran los porcentajes de mejora en extensión y flexión de la fuerza isocinética de cada uno de los grupos sometidos al entrenamiento y del grupo control.



**Figura 9.** Variación de fuerza isocinética en el torque pico de la extensión

GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; †= diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en el porcentaje de mejora de fuerza isocinética en el torque pico de la extensión entre el pre test y el post test; \*: diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en el porcentaje de mejora de la fuerza isocinética en el torque pico de la extensión entre grupo de entrenamiento y grupo control.



**Figura 10.** Variación de fuerza isocinética en el torque pico de la flexión

GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; †= diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en el porcentaje de mejora de la fuerza isocinética en el torque pico de la flexión entre el pre test y el post test.

## 6.2. COMPOSICIÓN CORPORAL

En la tabla número 8, se presentan los resultados de las variables de composición corporal para los distintos grupos experimentales y para GC en el pre test y en el post test.

Los resultados mostraron una tendencia a la significación en la masa muscular con un valor de  $p=0,061$  en GE1; no hubo cambios en ninguna variable analizada relativa a composición corporal en el resto de grupos de entrenamiento ni en GC; tampoco se observaron diferencias estadísticas al comparar entre grupos.

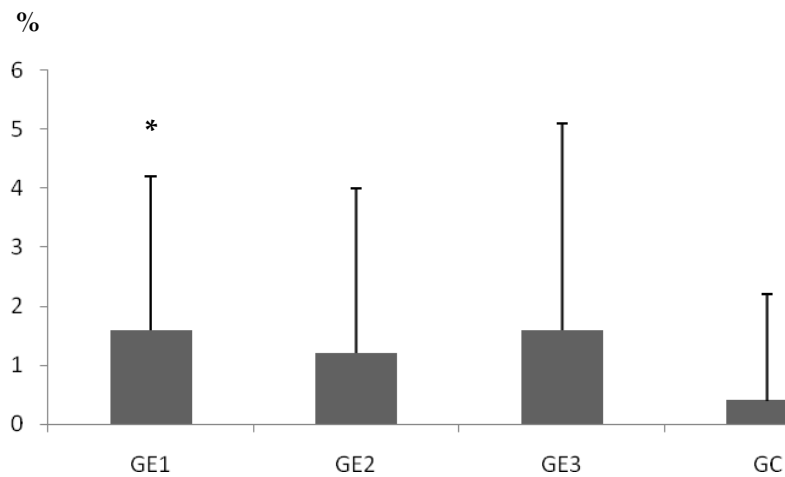
**Tabla 8.** Datos de composición corporal

		GrC (%)	MG (kg)	MLG (kg)
GE1 n= 11	Pre	23,4 ± 8,4	16,8 ± 7,1	51,3 ± 9,3
	Post	23,2 ± 9,1	16,5 ± 7,5	52,1 ± 9,8 *
	Δ	- 0,2	-0,3	0,8
GE2 n= 11	Pre	18,5 ± 7,6	12,1 ± 4,5	51,2 ± 9,8
	Post	19,1 ± 7,7	12,4 ± 4,9	51,8 ± 9,8
	Δ	0,6	0,2	0,6
GE3 n= 9	Pre	21,8 ± 7,8	16,7 ± 9,2	54,8 ± 10,1
	Post	21,0 ± 9,4	16,3 ± 11,4	55,5 ± 9,6
	Δ	-0,8	-0,4	0,7
GC n= 8	Pre	23,0 ± 11,7	17,6 ± 11,5	53,0 ± 8,1
	Post	23,1 ± 11,9	17,6 ± 11,9	53,2 ± 8,3
	Δ	0,1	0,0	0,2

GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; n= tamaño de la muestra; GrC (%): porcentaje de grasa corporal; MG (kg): masa grasa; MLG (kg): masa libre de grasa; Δ: valores de diferencia entre el pre test y el post test. \*: Tendencia a la significación ( $p < 0,10$ ) entre el pre y el post-test.



En la figura 11, se muestran los porcentajes de modificación en masa libre de grasa de cada uno de los grupos sometidos al entrenamiento y del grupo control.



**Figura 11.** Modificación en masa libre de grasa

GE1= 1 sesión; GE2= 2 sesiones; GE3= de 3 sesiones; GC= grupo control; \*= diferencias con tendencia a la significación ( $p= 0.061$ ), en el porcentaje de modificación en masa libre de grasa entre el pre test y el post test.



## **VII - DISCUSIÓN**



## VII - DISCUSIÓN

El propósito del presente estudio, fue analizar los efectos que produce la frecuencia de entrenamiento sobre la fuerza isocinética y la composición corporal al completar un periodo de entrenamiento en circuito de alta intensidad con una frecuencia de 1, 2 o 3 días por semana con sujetos no entrenados. Como hipótesis inicial, se estableció que aplicar una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC, produciría un efecto positivo sobre la fuerza y la composición corporal, frente a la aplicación de menores frecuencias de entrenamiento en esta población. Los hallazgos principales de este estudio, mostraron que todos los grupos de entrenamiento mejoraron en fuerza isocinética entre el pre y el post test, encontrándose además diferencias significativas en dicha variable, al comparar GE2 con GC. Relativo a la masa muscular, se produjeron diferencias con tendencias a la significación en GE1, al comparar los resultados entre el pre y el post test.

### 7.1. FUERZA ISOCINÉTICA MÁXIMA

En el presente estudio, y teniendo en cuenta los datos de los 3 grupos sometidos al protocolo de entrenamiento HRC propuesto, la fuerza isocinética y en concreto el torque pico, mejoró entre un 12-18% en extensión, y entre un 18-22% en flexión de rodilla a la velocidad angular de  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ . Al comparar entre grupos de entrenamiento, sólo GE2 mostró diferencias significativas respecto a GC en todas las variables asociadas al torque pico concéntrico de rodilla en extensión. Analizada también la flexión en la misma articulación, no se hayaron diferencias significativas al comparar entre grupos de entrenamiento, ni al comparar con GC.

Nuestros hallazgos están en la misma línea que los obtenidos por otros investigadores (Graves et al., 1990; Burt, Wilson, & Willardson, 2007; DiFrancisco-Donogue, Werner & Douris, 2007). Al igual que en la presente investigación, la realización de 1 sesión de entrenamiento fue igualmente efectiva que llevar a cabo

2 o 3 sesiones por semana de entrenamiento de fuerza en sujetos sin experiencia; no produciéndose tampoco en este caso diferencias al comparar entre grupos. De igual modo y al comparar los datos obtenidos en este estudio con un metanálisis llevado a cabo por Schoenfeld (2016a), podemos afirmar, que llevar a cabo el protocolo de entrenamiento HRC propuesto durante 2 días semanales, produce diferencias significativas y aumentos marcados en la fuerza en sujetos no entrenados.

Existe cierta controversia en la literatura acerca de cual es la frecuencia óptima de entrenamiento al llevar a cabo protocolos con objeto de mejorar específicamente la fuerza muscular en diferentes poblaciones. Por un lado, autores como McLester y Guilliams (2000), o Candow y Burke (2007), determinaron umbrales de mejora similares en la realización de 2 o 3 sesiones de entrenamiento semanales; mientras que otros como Cadore et al., (2014), concluyeron que la aplicación de 3 sesiones semanales supera en ganancias neuromusculares y cardiorrespiratorias a la aplicación de 1 sólo sesión semanal. El ACSM (2009), realizó en su momento otras aportaciones, diferenciando entre adaptaciones por grupo muscular, afirmando que la realización de 3 sesiones de entrenamiento por semana, consiguen mejoras en la fuerza en torno al 20-30% superiores que la realización de 1 o 2 sesiones semanales cuando se entrena la musculatura de los brazos y la de las piernas; mientras que cuando se entrena la musculatura de la columna, la realización de 1 o 2 sesiones por semana generan ganancias similares si se compara con 3 sesiones semanales de entrenamiento de fuerza con sobrecargas. Otros autores (Rhea et al., 2003), inciden además en la importancia de que los sujetos principiantes que tomen parte en programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas y cuyo objetivo fundamental sea el aumento de la fuerza, utilicen protocolos que focalicen sobre el desarrollo integral de todo el cuerpo, utilizando una frecuencia semanal de 2 a 3 sesiones por semana.

En referencia a los bajos porcentajes de mejora obtenidos en la fuerza en esta investigación, podrían deberse entre otros factores a que el protocolo de entrenamiento utilizado se realizó con máquinas guiadas y la evaluación de la fuerza se llevó a cabo mediante un dinamómetro isocinético. Llegamos a esta deducción, basándonos en las conclusiones obtenidas en el estudio llevado a cabo

por Gentil et al., (2017). En esta investigación, los autores afirmaron que utilizar ejercicios isoinerciales durante la realización de protocolos de entrenamiento de fuerza, y llevar a cabo posteriormente las mediciones utilizando dinamómetros isocinéticos, puede dar lugar, a que las medidas resultantes no sean equivalentes.

Determinadas investigaciones (Moritani, 1979; Judge & Burke, 2003; Gabriel, Kamen, & Frost, 2006; Schoenfeld, 2010; Jones et al., 2013; Romero-Arenas et al., 2013b;), defienden la postura de que la adquisición inicial de fuerza al llevar a cabo programas de entrenamiento con sobrecargas, puede deberse más a cambios producidos en los mecanismos neurales que a hipertrofia muscular en las primeras semanas de entrenamiento. En la presente investigación, los datos muestran también que las adaptaciones neurales pudieron ser el factor más relevante en las mejoras de fuerza obtenidas al no producirse aumentos marcados en la hipertrofia; encontrándose escasos porcentajes de aumento de la masa muscular en todos los grupos sometidos al entrenamiento (1,6% en GE1, un 1,2% en GE2 y un 1,6% en GE3).

Investigaciones como la llevada a cabo por Taaffe et al., (1999), consideran que las adaptaciones de la fuerza en las fases iniciales del entrenamiento son menos sensibles a las alteraciones en el volumen o la frecuencia, y que los beneficios, se manifiestan a medida que un individuo va aumentando su nivel, independientemente de la edad de los sujetos. En un metanálisis llevado a cabo por Rhea et al., (2003), y en la misma línea de resultados que el estudio comentado con anterioridad, se concluyó también que individuos bien entrenados necesitaban un mayor número de sesiones semanales para maximizar las ganancias de fuerza en comparación con otros sujetos con escasa o nula experiencia en entrenamiento, produciéndose una respuesta consistente, a medida que la frecuencia de entrenamiento aumentaba hasta completar las 3 sesiones por semana. Puesto que los sujetos sometidos al protocolo de entrenamiento utilizado en este estudio obtuvieron resultados similares en la fuerza independientemente de la frecuencia semanal utilizada, podríamos afirmar también, que en las primeras semanas de entrenamiento, variables asociadas la carga como el volumen y la frecuencia, no afectan de manera significativa en las adaptaciones en la fuerza en sujetos no entrenados.

Este hallazgo tiene una especial relevancia, ya que la diferencia de volumen, frecuencia semanal, y tiempo semanal empleado para la realización de estos protocolos es muy significativo. Sujetos sin experiencia en la realización de protocolos de entrenamiento de fuerza con sobrecargas y/o con escaso tiempo para entrenar, podrían beneficiarse del protocolo HRC propuesto.

## 7.2. COMPOSICIÓN CORPORAL

Son pocos los estudios previos que han evaluado el efecto del entrenamiento en circuito de alta intensidad, y menos aún, los que han analizado el efecto de la frecuencia del entrenamiento de la fuerza sobre la composición corporal y las ganancias de masa muscular en poblaciones no entrenadas.

En esta investigación, los resultados mostraron una tendencia a la significación en la masa muscular en GE1; no hubo cambios en ninguna variable analizada relativa a composición corporal en el resto de grupos de entrenamiento ni en GC; tampoco se observaron diferencias estadísticas al comparar entre grupos.

Podríamos afirmar, que los resultados obtenidos en este estudio en cuanto a aumentos en la masa muscular (1,6% en GE1, 1,2% en GE2 y 1,6% en GE3), están en línea con los obtenidos en su momento por otros autores (Taaffe et al., 1999; McLester & Guilliams, 2000; Candow & Burke, 2007; Arazi & Asadi, 2011; Benton et al., 2011; Tomas & Burns, 2016). En estos trabajos, se evaluaron los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza en distintas poblaciones sobre la composición corporal, y utilizando diversas frecuencias (1-3 sesiones semanales). Tras la finalización de estas investigaciones, y al evaluar los parámetros asociados a composición corporal a través de DEXA, los porcentajes de mejora en la masa muscular se desarrollaron también de manera similar en los 3 grupos a pesar de las diferencias en el volumen utilizado. Es de remarcar además, que al igual que en esta investigación, no se produjeron diferencias significativas al comparar entre grupos. Puesto que en este estudio, los participantes carecían también de experiencia en la realización de entrenamientos de fuerza, los aumentos en las ganancias musculares pudieron producirse de forma similar e independientemente del volumen, de la frecuencia semanal de entrenamiento utilizada, del sexo, o de la edad de los participantes.



Autores como Schoenfeld et al., (2016a), obtuvieron sin embargo resultados diferentes en un metanálisis en el que compararon estudios que aplicaban distintos programas de entrenamiento de fuerza modificando frecuencias (1 a 3 sesiones semanales) con igual volumen; los autores llegaron a la conclusión de que entrenar con una frecuencia de entrenamiento de 2 sesiones semanales, promovía mayor hipertrofia que entrenar con una frecuencia de 1 sólo sesión semanal. En la misma línea de resultados, otra investigación llevada a cabo en este caso por Fu et al., (2017), y con una población de sujetos bien entrenados, comparó 2 vs 4 días de realización de un entrenamiento de fuerza con sobrecargas, equiparando el volumen y utilizando una duración de 6 semanas. Se concluyó, que la condición de baja frecuencia y alto volumen de entrenamiento, produjo aumentos superiores en la masa muscular en relación a la aplicación de una alta frecuencia y un volumen de entrenamiento más bajo. Según estos autores y a diferencia de los hallazgos obtenidos en el presente estudio, se establece que los principales grupos musculares deben ser entrenados con una frecuencia de 2 días por semana para maximizar el crecimiento muscular.

La investigación llevada a cabo por Seynnes, de Boer y Narici (2007), concluyó en su momento que se producía una hipertrofia mensurable después de tan sólo 3 semanas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas realizado a alta intensidad. Estos autores, afirmaron además, que debido a la variabilidad de opciones que se utilizan a la hora de realizar mediciones de hipertrofia, y a la dificultad de detectarla, es probable que ésta ocurra en poblaciones no entrenadas al someterse a protocolos de entrenamiento de fuerza no prolongados en el tiempo (Seynnes, de Boer, & Narici, 2007). Al hilo de lo comentado con anterioridad, y debido a que la población de este estudio es similar a la utilizada en su momento por estos autores (sujetos no entrenados), pensamos que los resultados obtenidos en masa muscular en GE1, muestran que pudieron suscitarse ciertas adaptaciones morfológicas en los grupos sometidos a entrenamiento, a pesar de que la duración de la aplicación del protocolo (8 semanas), fue bastante reducido. Este hallazgo es de especial relevancia, pues sólo con llevar a cabo el protocolo HRC propuesto durante 1 sesión semanal, se producen incrementos en la masa muscular en sujetos sin experiencia.

En referencia a la disminución de la grasa corporal, los datos de las investigaciones consultadas, no están en consonancia con los resultados obtenidos en este trabajo. En estudios como el de Takeshima et al., (2004), los sujetos si mostraron una disminución significativa de la grasa corporal tras 12 semanas de entrenamiento de fuerza. En concreto, observaron un descenso del 16% de la masa grasa. Este trabajo, tuvo una duración de 4 semanas superior a esta investigación, por lo que suponemos que las adaptaciones podrían haber llegado más tarde si hubiésemos mantenido el programa durante un periodo de tiempo más prolongado. Utilizando un volumen y una frecuencia de entrenamiento similar a la del citado trabajo, Paoli et al., (2010), compararon dos programas de entrenamiento en circuito de baja y alta intensidad (15RM vs 6RM), durante un periodo de 12 semanas. En este estudio, se observó también un gran descenso del porcentaje de grasa corporal en el grupo de participantes que entrenó con una intensidad alta, siendo esta reducción significativamente mayor que la del grupo que entrenó con una intensidad más baja. Los autores, especularon al respecto, que estos hallazgos se podrían deber a un incremento del exceso de oxígeno consumido post-ejercicio (EPOC), pues investigaciones anteriores han demostrado que ejercicios de fuerza con sobrecargas realizados a alta intensidad, generan un mayor EPOC que la realización de ejercicios de fuerza similares y llevados a cabo a una intensidad de trabajo más baja, con el consiguiente aumento del metabolismo y con una disminución significativa del peso corporal (Haltom et al., 1999; Marín-Pagán, Romero-Arenas, & Alcaraz, 2013; Paoli et al., 2012; Thornton, 2002).

## **VIII - LIMITACIONES**



## VIII- LIMITACIONES

Este estudio tuvo varias limitaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

1. El periodo de tiempo en el que se llevó a cabo fue relativamente corto, cubriendo sólo 8 semanas; quizá los resultados habrían sido diferentes con una duración mayor.
2. El pequeño tamaño de la muestra en cada uno de los grupos pudo afectar a la potencia estadística; se observó un alto grado de variabilidad interindividual entre los sujetos al realizar los cálculos estadísticos, lo que pudo limitar la capacidad de detectar diferencias significativas en las mediciones.
3. Aunque el uso de entrenamientos llegando al fallo muscular es una práctica común en los programas de fuerza y acondicionamiento físico, este entrenamiento puede aumentar el potencial de sobreentrenamiento cuando se emplea con demasiada frecuencia en el tiempo (Izquierdo, 2006).
4. Los hallazgos son específicos para sujetos jóvenes sin experiencia en entrenamiento de fuerza con sobrecargas, y no pueden generalizarse necesariamente a otras poblaciones; específicamente, las diferencias en las influencias hormonales, la sensibilidad anabólica del músculo, la habilidad de recuperación y otros factores, pueden alterar la respuesta hipertrófica en adolescentes, mujeres y ancianos. Investigaciones futuras deberían buscar determinar la generalización de resultados a estas poblaciones.



## **IX - CONCLUSIONES**





## IX- CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del estudio. Se debe tener en cuenta, que las mismas son aplicables únicamente a sujetos jóvenes y sin experiencia en la realización de entrenamientos de fuerza con sobrecargas, y con características similares a las del presente trabajo.

### 9.1. CONCLUSIÓN GENERAL

1. El entrenamiento en circuito de alta intensidad, consigue adaptaciones en la fuerza isocinética de los flexo-extensores de rodilla independientemente de la frecuencia semanal aplicada. Asimismo, consigue incrementos tendentes a la significación en la masa muscular al realizarlo durante 1 sesión semanal.

### 9.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

1. Aplicar un entrenamiento en circuito de alta intensidad a sujetos no entrenados durante 1 sesión, 2 sesiones o 3 sesiones semanales, consigue adaptaciones en la fuerza isocinética de la articulación de la rodilla independientemente de la frecuencia semanal utilizada. De igual modo, la aplicación de 2 sesiones de entrenamiento semanales, produce un incremento significativo de dicha variable al comparar los resultados con el grupo control.
2. Utilizar una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC con sujetos no entrenados, no produce un aumento significativo en masa libre de grasa. Sin embargo, la aplicación de 1 sesión de entrenamiento semanal, produce un incremento tendente a la significación en dicha variable, al comparar entre el pre test y el post test.

3. Emplear una mayor frecuencia semanal de entrenamiento en HRC con sujetos no entrenados, no reduce el porcentaje de masa grasa ni la masa grasa total, frente a la aplicación de una menor frecuencia semanal de entrenamiento al comparar entre el pre y el post test, y al comparar entre grupos.

# **X – APLICACIONES PRÁCTICAS**



## X – APLICACIONES PRÁCTICAS

Los resultados obtenidos en esta investigación proporcionan una visión novedosa de las adaptaciones musculares asociadas con el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en individuos jóvenes y sin experiencia.

Por un lado, se pueden conseguir mejoras en fuerza al aplicar el protocolo establecido en circuito de alta intensidad, independientemente de llevarlo a cabo 1 sesión, 2 sesiones o 3 sesiones semanales. Por otro lado, este estudio sugiere la existencia de una relación dosis-respuesta entre la frecuencia de entrenamiento de fuerza con sobrecargas y las adaptaciones musculares; pues sólo con entrenar 1 vez por semana, se pueden obtener mejoras en la masa muscular al aplicar el entrenamiento propuesto. Además, es concebible que se puedan obtener mayores beneficios hipertroóficos periodizando la frecuencia en el transcurso de un ciclo de entrenamiento más a largo plazo y no en tan sólo 8 semanas. La utilización de esta estrategia, mantendría la novedad del estímulo de entrenamiento, y permitiría aumentos continuos en la acumulación de proteínas contráctiles musculares dando lugar a mejoras más significativas.

Los sujetos no entrenados o con escasa experiencia en la realización de protocolos de entrenamiento de fuerza con sobrecargas se verán altamente beneficiados tras la aplicación de este protocolo. Con la realización de este entrenamiento, se verán beneficiadas también las personas que dispongan de poco tiempo para poder realizar su programa de entrenamiento semanal, y que pretendan conseguir unos patrones de mejora significativos en su composición corporal y en el rendimiento músculo-esquelético del tren inferior.



# **XI – FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**





## XI – FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Al finalizar el presente estudio, podemos plantear futuras líneas de trabajo que tienen su origen en el mismo:

- Reproducir el presente estudio, ampliando aún más la muestra y con unas características más homogéneas entre los sujetos.
- Reproducir el presente estudio, utilizando poblaciones de edades diferentes, con el objeto de poder generalizar más los resultados obtenidos.
- Reproducir el presente estudio, utilizando un periodo de tiempo de entrenamiento más prolongado con el objeto de verificar qué ocurre con las variables analizadas más a largo plazo.
- Comparar el efecto de la frecuencia semanal de entrenamiento con otros protocolos de entrenamiento muy utilizados en la actualidad, tales como el HIIT y el entrenamiento concurrente tradicional.
- Analizar más variables asociadas a HRC tales como la fuerza dinámica máxima, cambios hormonales y estructurales, y cambios en el sistema cardiorrespiratorio.



## **XII - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



**XII- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A., Magnusson, S. P., & Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol*, 534(Pt. 2), 613-623.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985), 93(4), 1318-1326.
- Abdessemed, D., Duche, P., Hautier, C., Poumarat, G., & Bedu, M. (1999). Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise. *Int J Sports Med*, 20(6), 368-373.
- Abe, T., DeHoyos, D. V., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol*, 81(3), 174-180.
- ACSM. (1998). American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 30(6), 975-991.
- ACSM. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(3), 687-708.
- Aeles, J., Lenchant, S., Vanlommel, L., & Vanwanseele, B. (2017). Bilateral differences in muscle fascicle architecture are not related to the preferred leg in jumping athletes. *Eur J Appl Physiol*, 117(7), 1453-1461.

- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2004). Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in strength athletes versus nonathletes. *Can J Appl Physiol*, 29(5), 527-543.
- Alcaraz, P. E., Perez-Gomez, J., Chavarrias, M., & Blazevich, A. J. (2011). Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2519-2527.
- Alcaraz, P. E., Sanchez-Lorente, J., & Blazevich, A. J. (2008). Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *J Strength Cond Res*, 22(3), 667-671.
- Allen, T. E., Byrd, R. J., & Smith, D. P. (1976). Hemodynamic consequences of circuit weight training. *Res Q*, 47(3), 229-306.
- Arazi, H., & Asadi, A. (2011). Effects of 8 Weeks Equal-Volume Resistance Training with Different Workout Frequency on Maximal Strength, Endurance and Body Composition. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 05 No. 02, 112-118.
- Armstrong, R. (2006). Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *Journal of Public Health*, 14(2), 66-70.
- Baechle, T. R., & Croves, B. R. (1998). *Weight Training: Steps to Success*. 2<sup>a</sup> ed. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bamman, M., Petrella, J. K., Kim, J. S., Mayhew, D. L., & Cross, J. M. (2007). Cluster analysis tests the importance of myogenic gene expression during myofiber hypertrophy in humans. *J Appl Physiol* (1985), 102(6), 2232-2239.

- Barton-Davis, E. R., Shoturma, D. I., & Sweeney, H. L. (1999). Contribution of satellite cells to IGF-I induced hypertrophy of skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 167(4), 301-305.
- Battista, E., & Vives, J. (1975). Fuerza y flexibilidad muscular. Buenos Aires: *Stadium*. p. 104.
- Benden, M. E., Zhao, H., Jeffrey, C. E., Wendel, M. L., & Blake, J. J. (2014). The evaluation of the impact of a stand-biased desk on energy expenditure and physical activity for elementary school students. *Int J Environ Res Public Health*, 11(9), 9361-9375.
- Benton, M. J., Kasper, M. J., Raab, S. A., Waggener, G. T., & Swan, P. D. (2011). Short-term effects of resistance training frequency on body composition and strength in middle-aged women. *J Strength Cond Res*, 25(11), 3142-3149.
- Berger, R. A. (1962). Effect of varied weight training programs on strength. *Research Quarterly*, 33, 138-181.
- Berning, J. M., Adams, K. J., Climstein, M., & Stamford, B. A. (2007). Metabolic demands of "junkyard" training: pushing and pulling a motor vehicle. *J Strength Cond Res*, 21(3), 853-856.
- Berra, B., & Rapelli, S. (1990). La producción energética muscular. *Sport y Medicina*. 6:29-33.
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med*, 35(10), 841-851.
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Coleman, D. R., & Horne, S. (2007). Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol (1985)*, 103(5), 1565-1575.

- Bocalini, D. S., Lima, L. S., de Andrade, S., Madureira, A., Rica, R. L., Dos Santos, R. N., & Pontes, F. L. (2012). Effects of circuit-based exercise programs on the body composition of elderly obese women. *Clin Interv Aging, 7*, 551-556.
- Bompa, T. O. (1990). Theory and methodology of Training. The Key of Athletic Performance. *Dubuque: Kendall*. pp. 267-273.
- Borst, S. E., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T., & Pollock, M. L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Med Sci Sports Exerc, 33*(4), 648-653.
- Brahm, H., Piehl-Aulin, K., Saltin, B., & Ljunghall, S. (1997). Net fluxes over working thigh of hormones, growth factors and biomarkers of bone metabolism during short lasting dynamic exercise. *Calcif Tissue Int, 60*(2), 175-180.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. L., Carpenter, D. M., & Colvin, A. B. (1989). Comparison of 2 vs 3 days/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *Int J Sports Med, 10*(6), 450-454.
- Braun, W. A., Hawthorne, W. E., & Markofski, M. M. (2005). Acute EPOC response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption. *Eur J Appl Physiol, 94*(5-6), 500-504.
- Brentano, M. A., Cadore, E. L., Da Silva, E. M., Ambrosini, A. B., Coertjens, M., Petkowicz, R., & Krueel, L. F. (2008). Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res, 22*(6), 1816-1825.
- Buresh, R., Berg, K., & French, J. (2009). The effect of resistive exercise rest interval on hormonal response, strength, and hypertrophy with training. *J Strength Cond Res, 23*(1), 62-71.



- Burt, J., Wilson, R., & Willardson, J. M. (2007). A comparison of once versus twice per week training on leg press strength in women. *J Sports Med Phys Fitness, 47*(1), 13-17.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Bottaro, M., & Izquierdo, M. (2014). Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. *Aging Dis, 5*(3), 183-195.
- Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 51*(3), 750-754.
- Calder, A. W., Chilibeck, P. D., Webber, C. E., & Sale, D. G. (1994). Comparison of whole and split weight training routines in young women. *Can J Appl Physiol, 19*(2), 185-199.
- Camargo, M. D., Stein, R., Ribeiro, J. P., Schwartzman, P. R., Rizzatti, M. O., & Schaan, B. D. (2008). Circuit weight training and cardiac morphology: a trial with magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med, 42*(2), 141-145; discussion 145.
- 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 Appl Physiol, 88*(1-2), 50-60.
- Candow, D. G., & Burke, D. G. (2007). Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *J Strength Cond Res, 21*(1), 204-207.
- Cannon, J., & Marino, F. E. (2010). Early-phase neuromuscular adaptations to high and low volume resistance training in untrained young and older women. *J Sports Sci, 28*(14), 1505-1514.

- Capen, E. K. (1956). Study of four programs of heavy resistance exercises for development of muscular strength. *Res Q*, 27, 132-142.
- Casagrande, V., de Salles, B., & Trajano, G. (2017). Volume for Muscle Hypertrophy and Health Outcomes: The Most Effective Variable in Resistance Training. *Sports Med*.
- Cerani, J. D. (1993). Las cualidades físicas y sus etapas sensibles: la fuerza. *Sport y Medicina*. (19): 15-18.
- Chu, D. A. (1993). Ejercicios pliométricos. Barcelona: *Paidotribo*. pp. 9-15.
- Coburn, J. W. (2011). NSCA's essentials of personal training. *Anonymous Champaign, IL: Human Kinetics*.
- Coleman, A. E. (1977). Nautilus vs universal gym strength training in adult males. *Am Correct Ther J*, 31(4), 103-107.
- Cometti, G. (1988). Les methodes modernes de musculation. Dijon: *UFR STAPS*. pp. 3-5.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med*, 41(1), 17-38.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, 41(2), 125-146.
- Coyle, E. F., Feiring, D. C., Rotkis, T. C., Cote, R. W., Roby, F. B., Lee, W., & Wilmore, J. H. (1981). Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 51(6), 1437-1442.

- Crenshaw, A. G., Karlsson, S., Styf, J., Backlund, T., & Friden, J. (1995). Knee extension torque and intramuscular pressure of the vastus lateralis muscle during eccentric and concentric activities. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 70(1), 13-19.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute metabolic responses. *Sports Med*, 36(1), 65-78.
- Chilibeck, P., Sale, D. G., & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 170-175.
- Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(7), 1510-1530.
- Delgado, A., Peres, G., Vandewalle, H., & Monod, H. (1990). Efectos del entrenamiento sobre la potencia máxima anaeróbica de la relación fuerza-velocidad. *Archivos de Medicina del Deporte*. 25 (7): 25-29.
- de Salles, B. F., Simão, R., Miranda, F., Lemos, A., & Willardson, J. M. (2009). Rest interval between sets in strength training. *Sports Med*, 39(9), 765-777.
- Dankel, J., Mattocks, T., & Jessee, M. (2016). Frequency: The Overlooked Training Variable for Inducing Muscle Hypertrophy?. *Sport Med*.
- Derenne, C., Hetzler, R. K., & Buxton, B. P. (1996). Effects of training frequency on strength maintenance in pubescent baseball players. *J. Strength Cond. Res.*, 10, 8-14.
- DiFrancisco-Donoghue, J., Werner, W., & Douris, P. C. (2007). Comparison of once-weekly and twice-weekly strength training in older adults. *Br J Sports Med*, 41(1), 19-22.

- Doessing, S., Heinemeier, K. M., Holm, L., Mackey, A. L., Schjerling, P., Rennie, M. J., & Kjaer, M. (2010). Growth hormone stimulates the collagen synthesis in human tendon and skeletal muscle without affecting myofibrillar protein synthesis. *J Physiol*, 588(Pt 2), 341-351.
- Dudley, G. A., & Djamil, R. (1985). Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol* (1985), 59(5), 1446-1451.
- Dudley, G. A., Tesch, P. A., Miller, B. J., & Buchanan, P. (1991). Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med*, 62(6), 543-550.
- Edwards, R. (2013). Data and evidence: there is a difference! (a commentary and debate on Healy et al.). *Int J Risk Saf Med*, 25(2), 123-129.
- Ehlemz, H., Grosser, M., Zimmermann, E., & Simon, W. (1990). Entrenamiento de la fuerza. *Ediciones Martínez Roca*.
- Fahlman, M. M., Boardley, D., Lambert, C. P., & Flynn, M. G. (2002). Effects of endurance training and resistance training on plasma lipoprotein profiles in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 57(2), B54-60.
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res*, 23(5 Suppl), S60-79.
- Farinatti, P. T., da Silva, N. S., & Monteiro, W. D. (2013). Influence of exercise order on the number of repetitions, oxygen uptake, and rate of perceived exertion during strength training in younger and older women. *J Strength Cond Res*, 27(3), 776-785.

- Ferreira, F. C., Bertucci, D. R., Barbosa, M. R., Nunes, J. E., Botero, J. P., Rodrigues, M. F., & Perez, S. (2016). Circuit resistance training in women with normal weight obesity syndrome: body composition, cardiometabolic and echocardiographic parameters, and cardiovascular and skeletal muscle fitness. *J Sports Med Phys Fitness*.
- Fett, C. A., Fett, W. C., & Marchini, J. S. (2009). Circuit weight training vs jogging in metabolic risk factors of overweight/obese women. *Arq Bras Cardiol*, 93(5), 519-525.
- Fink, J. E., Schoenfeld, B. J., Kikuchi, N., & Nakazato, K. (2017). Acute and Long-term Responses to Different Rest Intervals in Low-load Resistance Training. *Int J Sports Med*, 38(2), 118-124.
- Fisher, J. P., & Steele, J. (2017). Heavier and lighter load resistance training to momentary failure produce similar increases in strength with differing degrees of discomfort. *Muscle Nerve*, 56(4), 797-803.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2005). Designing resistance training program. *Human Kinetics*.
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*, 37(2), 145-168.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 34(10), 663-679.
- Fry, A. C., Kraemer, W. J., van Borselen, F., Lynch, J. M., Marsit, J. L., Roy, E. P., & Knuttgen, H. G. (1994). Performance decrements with high-intensity resistance exercise overtraining. *Med Sci Sports Exerc*, 26(9), 1165-1173.

- Fu, Y., Karsten, B, Larumbe-Zabala, E., Seijo, M., Nacleiro, F. (2017). Comparison of Two Equated Resistance Training Weekly Volume Routines Using Different Frequencies on Body Composition and Performance in Trained Males. *Appl Physiol Nutr Metab*.
- Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med*, 36, 133-149.
- Galvao, D. A., & Taaffe, D. R. (2005). Resistance exercise dosage in older adults: single versus multiset effects on physical performance and body composition. *J Am Geriatr Soc*, 53(12), 2090-2097.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., & Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1334-1359.
- Generelo, E., & Tierz, O. (1994). Cualidades físicas (fuerza, velocidad, agilidad y calentamiento). Zaragoza: *Imagen y Deporte*. pp. 19-20.
- Gentil, P., Fischer, B., Martorelli, A. S., Lima, R. M., & Bottaro, M. (2015). Effects of equal-volume resistance training performed one or two times a week in upper body muscle size and strength of untrained young men. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(3), 144-149.
- Gentil, P., Del Vecchio, F. B., Paoli, A., Shoenfeld, B. J., & Bottaro, M. (2017). Isokinetic Dynamometry and 1 RM Test produce conflicting results for assessing alterations in muscle strength. *J Hum Kinet*, 19-27.

- Gettman, L. R., Ayres, J. J., Pollock, M. L., Durstine, J. L., & Grantham, W. (1979). Physiologic effects on adult men of circuit strength training and jogging. *Arch Phys Med Rehabil*, 60(3), 115-120.
- Gettman, L. R., Ayres, J. J., Pollock, M. L., & Jackson, A. (1978). The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med Sci Sports*, 10(3), 171-176.
- Gettman, L. R., Culter, L. A., & Strathman, T. A. (1980). Physiologic changes after 20 weeks of isotonic vs isokinetic circuit training. *J Sports Med Phys Fitness*, 20(3), 265-274.
- Gettman, L. R., Ward, P., & Hagan, R. D. (1982). A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc*, 14(3), 229-234.
- Ghigiarelli, J. J., Sell, K. M., Raddock, J. M., & Taveras, K. (2013). Effects of strongman training on salivary testosterone levels in a sample of trained men. *J Strength Cond Res*, 27(3), 738-747.
- Goldspink, G. (2005). Mechanical signals, IGF-I gene splicing, and muscle adaptation. *Physiology (Bethesda)*, 20, 232-238.
- Gomez-Cabello, A., Ara, I., Gonzalez-Aguero, A., Casajus, J. A., & Vicente-Rodriguez, G. (2012). Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med*, 42(4), 301-325.
- Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Stout, J. R., Fukuda, D. H., & Willoughby, D. S. (2016). Intramuscular Anabolic Signaling and Endocrine Response Following Resistance Exercise: Implications for Muscle Hypertrophy. *Sports Med*, 46(5), 671-685.
- Gonzalez, J. J., & Gorostiaga, E. (1995). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. Barcelona: *Inde*.

- Gordon, S. E., Kraemer, W. J., Vos, N. H., Lynch, J. M., & Knuttgen, H. G. (1994). Effect of acid-base balance on the growth hormone response to acute high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol*, 76(2), 821-829.
- Goto, K., Nagasawa, M., Yanagisawa, O., Kizuka, T., Ishii, N., & Takamatsu, K. (2004). Muscular adaptations to combinations of high- and low-intensity resistance exercises. *J Strength Cond Res*, 18(4), 730-737.
- Gotshalk, L. A., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U., Hakkinen, K., & Kraemer, W. J. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (1985), 22, 244-255.
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Jones, A. E., Colvin, A. B., & Leggett, S. H. (1989). Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 21(1), 84-89.
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M., & Bishop, L. E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int J Sports Med*, 9(5), 316-319.
- Graves, J. E., Foster, D. N., Leggett, S. H., Carpenter, D. M., Vuoso, R., & Jones, A. (1990). Effects of training frequency and specificity on isometric lumbar extension strength. *Spine*, 15, 504-509.
- Green, D. J., Watts, K., Maiorana, A. J., & O'Driscoll, J. G. (2001). A comparison of ambulatory oxygen consumption during circuit training and aerobic exercise in patients with chronic heart failure. *J Cardiopulm Rehabil*, 21(3), 167-174.
- Gremeaux, V., Drigny, J., Nigam, A., Juneau, M., Guilbeault, V., Latour, E., & Gayda, M. (2012). Long-term lifestyle intervention with optimized high-intensity interval training improves body composition, cardiometabolic risk, and exercise parameters in patients with abdominal obesity. *Am J Phys Med Rehabil*, 91(11), 941-950.



- Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W., & Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy: A systematic review. *Eur J Sport Sci*, 17(8), 983-993.
- Grgic, J., Mikulic, P., Podnar, H., & Pedisic, Z. (2017). Effects of linear and daily undulating periodized resistance training programs on measures of muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 5, e3695.
- Gutiérrez, M., & Padial, P. (1991). Efecto de la precontracción muscular sobre el tiempo de impulso y altura alcanzada por corredores en salto vertical. *Archivos de Medicina del Deporte*. 29 (8): 23-27.
- Hakkinen, A. (1985). Changes in electrical and mechanical behavior of leg extensor muscles during heavy resistance strength training. *Scand. J. Sports Sci.*, 7, 55-64.
- Hakkinen, K. (1995). Neuromuscular fatigue and recovery in women at different ages during heavy resistance loading. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 35(7), 403-413.
- Hakkinen, K., Newton, R. U., Gordon, S. E., McCormick, M., Volek, J. S., Nindl, B. C., & Kraemer, W. J. (1998). Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 53(6), B415-423.
- Hakkinen, K., & Pakarinen, A. (1993). Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand*, 148(2), 199-207.

- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 57(2), 133-139.
- Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K., & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc*, 31(11), 1613-1618.
- Hameed, 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. *J Physiol*, 555(Pt 1), 231-240.
- Harber, M. P., Fry, A. C., Rubin, M. R., Smith, J. C., & Weiss, L. W. (2004). Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scand J Med Sci Sports*, 14(3), 176-185.
- Harre, D. (1985). Teoría del entrenamiento deportivo. Buenos Aires: *Stadium*. pp. 123-124.
- Harre, D., & Hautmann, M. (1994). La capacidad de la fuerza y su entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo*. 1 (8): 32-38.
- Harris, N. K., Woulfe, C. J., Wood, M. R., Dulson, D. K., Gluchowski, A. K., & Keogh, J. B. (2016). Acute Physiological Responses to Strongman Training Compared to Traditional Strength Training. *J Strength Cond Res*, 30(5), 1397-1408.
- Hartman, M. J., Fields, D. A., Byrne, N. M., & Hunter, G. R. (2007). Resistance training improves metabolic economy during functional tasks in older adults. *J Strength Cond Res*, 21(1), 91-95.

- Hass, C. J., Garzarella, L., de Hoyos, D., & Pollock, M. L. (2000). Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 235-242.
- Hather, B. M., Tesch, P. A., Buchanan, P., & Dudley, G. A. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand*, 143(2), 177-185.
- Hauptmann, M., & Harre, D. (1987). El entrenamiento de la fuerza máxima. *Revista de Entrenamiento Deportivo*. 2 (1): 11-18.
- Hegedüs, J. (1975). Teoría general y especial del entrenamiento deportivo. Buenos Aires: *Stadium*. pp. 105-107.
- Heggelund, J., Fimland, M. S., Helgerud, J., & Hoff, J. (2013). Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. *Eur J Appl Physiol*, 113(6), 1565-1573.
- Henselmans, M., & Schoenfeld, B. J. (2014). The effect of inter-set rest intervals on resistance exercise-induced muscle hypertrophy. *Sports Med*, 44(12), 1635-1643.
- Hermassi, S., Chelly, M. S., Tabka, Z., Shephard, R. J., & Chamari, K. (2011). Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2424-2433.
- Hickson, R. C., Hidaka, K., & Foster, C. (1994). Skeletal muscle fiber type, resistance training, and strength-related performance. *Med Sci Sports Exerc*, 26(5), 593-598.
- Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*, 12(5), 288-295.

- Hoffman, J. R., Maresh, C. M., Armstrong, L. E., & Kraemer, W. J. (1991). Effects of off-season and in-season resistance training programs on a collegiate male basketball team. *J. Hum. Muscle Perform.*, 1, 48–55.
- Hubal, M. J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Price, T. B., Hoffman, E. P., Angelopoulos, T. J., & Clarkson, P. M. (2005). Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 37(6), 964-972.
- Humburg, H., Baars, H., Schroder, J., Reer, R., & Braumann, K. M. (2007). 1-Set vs. 3-set resistance training: a crossover study. *J Strength Cond Res*, 21 (2), 578-582.
- Hunter, G. R. (1985). Changes in body composition, body build, and performance associated with different weight training frequencies in males and females. *NSCA J.*, 7, 26-28.
- Hunter, G. R., Bryan, D. R., Wetzstein, C. J., Zuckerman, P. A., & Bamman, M. M. (2002). Resistance training and intra-abdominal adipose tissue in older men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 34(6), 1023-1028.
- Hunter, G. R., Byrne, N. M., Sirikul, B., Fernandez, J. R., Zuckerman, P. A., Darnell, B. E., & Gower, B. A. (2008). Resistance training conserves fat-free mass and resting energy expenditure following weight loss. *Obesity (Silver Spring)*, 16(5), 1045-1051.
- Hunter, G. R., McCarthy, J. P., & Bamman, M. M. (2004). Effects of resistance training on older adults. *Sports Med*, 34(5), 329-348.
- Hunter, G. R., Wetzstein, C. J., Fields, D. A., Brown, A., & Bamman, M. M. (2000). Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol (1985)*, 89(3), 977-984.

- Ivey, F. M., Roth, S. M., Ferrell, R. E., Tracy, B. L., Lemmer, J. T., Hurlbut, D. E., & Hurley, B. F. (2000). Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(11), M641-648.
- Izquierdo, M., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X., & Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J. Appl. Physiol*, 100, 1647-1656.
- Jacobson, B. H. (1986). A comparison of two progressive weight training techniques on knee extensor strength. *J Athl Train*, 21, 315-319.
- Jakov, E., Berg, A., Arratibel, I., & Keul, J. (1989). Excitabilidad neuromuscular en relación a la función y a la capacidad de carga de la musculatura. *Archivos de Medicina del Deporte*. 22 (6): 135-141.
- Jenkins, N., Miramonti, A. A., Hill, E. C., Smith, C. M., Cochrane-Snyman, K. C., Housh, T. J., & Cramer, J. T. (2017). Greater Neural Adaptations following High- vs. Low-Load Resistance Training. *Front Physiol*, 8, 331.
- Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., & French, D. N. (2013). Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *J Strength Cond Res*, 27(12), 3342-3351.
- Judge, L., & Burke, J. R. (2003). Neural adaptations with sport specific resistance training in highly skilled athletes. *Journal of Sports Science*, 21, 419-427.
- Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S. Y., & Fukunaga, T. (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(1-2), 37-43.

- Kemmler, W. K., Lauber, D., Engelke, K., & Weineck, J. (2004). Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. *J Strength Cond Res*, 18(4), 689-694.
- Keogh, J. W., Payne, A. L., Anderson, B. B., & Atkins, P. J. (2010). A brief description of the biomechanics and physiology of a strongman event: the tire flip. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1223-1228.
- Kirsch, L. (1993). Entrenamiento isométrico. Ejercicio para desarrollar la fuerza muscular y relajarse. Barcelona: *Paidotribo*. pp. 14-15.
- Knuttgen, H., & Kraemer, W. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research* 1, 1-10.
- Kosek, D. J., Kim, J. S., Petrella, J. K., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J Appl Physiol* (1985), 101(2), 531-544.
- Kraemer, W. J. (1997). A series of studies: The physiological basis for strength training in American football: Fact over philosophy. *J. Strength Cond. Res.*, 11, 131-142.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., & Triplett-McBride, T. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 34(2), 364-380.
- Kraemer, W. J., Aguilera, B. A., Terada, M., Newton, R. V., Lynch, J. M., Rosendaal, G., McBride, J. M., Gordon, S. E., & Hakkinen, K. (1995). Responses of IGF-1 to endogenous increases in growth hormone after heavy-resistance exercise. *J Appl Physiol*. 79(4): 1310-5.

- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Dziados, J. E., Harman, E. A., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., & Triplett, N. T. (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol* (1985), 75(2), 594-604.
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Newton, R. U., Nindl, B. C., Volek, J. S., McCormick, M., & Evans, W. J. (1999). Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* (1985), 87(3), 982-992.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., & Fleck, S. J. (1990a). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (1985), 69(4), 1442-1450.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., & Fleck, S. J. (1990b). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol*, 69(4), 1442-1450.
- Kraemer, W. J., Ratamess, N., Fry, A. C., Triplett-McBride, T., Koziris, L. P., Bauer, J. A., & Fleck, S. J. (2000). Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *Am J Sports Med*, 28(5), 626-633.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674-688.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*, 35(4), 339-361.
- Kramer, J. B., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Conley, M. S., & Johnson, D. C. (1997). Effects of single vs. multiple sets of weight training: Impact of volume, intensity, and variation. *J. Strength Cond. Res.*, 11, 143-147.

- Krieger, J. W. (2010). Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 24(4), 1150-1159.
- Kumar, V., Selby, A., Rankin, D., Patel, R., Atherton, P., Hildebrandt, W., & Rennie, M. J. (2009). Age-related differences in the dose-response relationship of muscle protein synthesis to resistance exercise in young and old men. *J Physiol*, 587(1), 211-217.
- Kuznetsov, V. (1989). Metodología del entrenamiento de la fuerza para deportistas de alto nivel. Buenos Aires: *Stadium*. pp. 11-13.
- Lachowetz, T. J. (1998). The effect of an upper body strength program on intercollegiate baseball throwing velocity. *J. Strength Cond*, 12, 116-119.
- Lagally, K. M., Cordero, J., Good, J., Brown, D. D., & McCaw, S. T. (2009). Physiologic and metabolic responses to a continuous functional resistance exercise workout. *J Strength Cond Res*, 23(2), 373-379.
- Lambert, C. P., & Flynn, M. G. (2002). Fatigue during high-intensity intermittent exercise: application to bodybuilding. *Sports Med*, 32(8), 511-522.
- Latham, N. K., Bennett, D. A., Stretton, C. M., & Anderson, C. S. (2004). Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 59(1), 48-61.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*, 32(1), 53-73.
- Leenders, M., Verdijk, L. B., van der Hoeven, L., van Kranenburg, J., Nilwik, R., & van Loon, L. J. (2013). Elderly men and women benefit equally from prolonged resistance-type exercise training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 68(7), 769-779.



- Lehnhard, R. A., Lehnhard, H. R., Young, R., & Butterfeld, S. A. (1996). Monitoring Injuries on a College Soccer Team: The Effect of Strength Training. *National Strength & Conditioning Association, 10*(2), 115-119.
- Lera Orsatti, F., Nahas, E. A., Maesta, N., Nahas Neto, J., Lera Orsatti, C., Vannucchi Portari, G., & Burini, R. C. (2014). Effects of resistance training frequency on body composition and metabolics and inflammatory markers in overweight postmenopausal women. *J Sports Med Phys Fitness, 54*(3), 317-325.
- Lim, S. N., Chai, J. H., Song, J. K., Seo, M. W., & Kim, H. B. (2015). Comparison of nutritional intake, body composition, bone mineral density, and isokinetic strength in collegiate female dancer. *J Exerc Rehabil, 31*; 11(6): 356-62.
- Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., & Myer, G. D. (2014). Position statement on youth resistance training: the 2014 International Consensus. *Br J Sports Med, 48*(7), 498-505.
- Macchi, G. (1991). Potasio y trabajo muscular. *Sport y Medicina. 9*: 42-45.
- Macchi, G. (1993). Respuesta cardiovascular a la contracción isométrica. *Sport y Medicina. 24*: 21-23.
- Maiorana, A., O'Driscoll, G., Dembo, L., Goodman, C., Taylor, R., & Green, D. (2001). Exercise training, vascular function, and functional capacity in middle-aged subjects. *Med Sci Sports Exerc, 33*(12), 2022-2028.
- Mann, T. N., Webster, C., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2014). Effect of exercise intensity on post-exercise oxygen consumption and heart rate recovery. *Eur J Appl Physiol, 114*(9), 1809-1820.

- Marín-Pagán, C., Romero-Arenas, S., & Alcaraz, P. E. (2013). *Cardiorespiratory and metabolic responses to an acute bout of high-resistance circuit training vs. traditional strength training in soccer players*. Paper presented at the 18<sup>th</sup> annual Congress of the European College of Sport Science, Barcelona.
- Martín, R. (1987). La fuerza relativa. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 4-5 (1): 70-79.
- Martín, F. J., & Alonso, M. (1987). Utilidad de los distintos sistemas de entrenamiento de potencia muscular. *Archivos de medicina del Deporte*, 13 (4): 37-44.
- Marshall, P. W., McEwen, M., & Robbins, D. W. (2011). Strength and neuromuscular adaptation following one, four, and eight sets of high intensity resistance exercise in trained males. *Eur J Appl Physiol*, 111(12), 3007-3016.
- Marx, J. O., Ratamess, N. A., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Dohi, K., & Kraemer, W. J. (2001). Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc*, 33(4), 635-643.
- Matvéev, L. (1985). Fundamentos del entrenamiento deportivo. Madrid-Moscú: *Raduga*. pp. 182-187.
- Mayhew, J. L., & Gross Gross, P. M. (1974). Body composition changes in young women with high resistance weight training. *Res Q*, 45(4), 433-440.
- Mazzetti, S., & Volek, J. S. (2000). The influence of direct supervision of resistance training on strength performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1175-1184.
- McCall, G. E., Byrnes, W. C., Fleck, S. J., Dickinson, A., & Kraemer, W. J. (1999). Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol*, 24(1), 96-107.

- McCaulley, G. O., McBride, J. M., Cormie, P., Hudson, M. B., Nuzzo, J. L., Quindry, J. C., & Travis Triplett, N. (2009). Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*, 105(5), 695-704.
- McKenzie Gillam, G. (1981). Effects of frequency of weight training on muscle strength enhancement. *J Sports Med Phys Fitness*, 21(4), 432-436.
- McLester, J., & Guilliams, M. E. (2000). Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *J Strength Cond Res*, 14, 273-281.
- Messier, S. P., & Dill, M. E. (1985). Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to Nautilus circuit weight training. *Res Q Exerc Sport*, 56(4), 345-351.
- Michels, G., & Hoppe, U. C. (2008). Rapid actions of androgens. *Front Neuroendocrinol*, 29(2), 182-198.
- 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. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1032-1036.
- Monteiro, W. D., Simao, R., Polito, M. D., Santana, C. A., Chaves, R. B., Bezerra, E., & Fleck, S. J. (2008). Influence of strength training on adult women's flexibility. *J Strength Cond Res*, 22(3), 672-677.
- Monteventano, E. (1991). La fructosa y la síntesis de tejido muscular. *Sport y Medicina*. 9: 8-10.
- Morales, J. L., Aguera, J. L., Vivo, J., & Miró, F. (1990). Modificaciones por el entrenamiento de los tipos de fibras II (IIa y IIb) en el músculo de la rata. *Archivos de Medicina del Deporte*. 26 (7): 127-132.

- Morgan, R. E., & Adamson, G. T. (1959). Circuit Training: the first complete & authentic account.
- Moritani, T. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Sports Medicine*, 58, 115-130.
- Munoz-Martinez, F. A., Rubio-Arias, J. A., Ramos-Campo, D. J., & Alcaraz, P. E. (2017). Effectiveness of Resistance Circuit-Based Training for Maximum Oxygen Uptake and Upper-Body One-Repetition Maximum Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*.
- Narici, M. V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., & Cerretelli, P. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand*, 157(2), 175-186.
- Navarro, F. (1987). La fuerza. Apuntes Educación Física. 7-8: 20-25.
- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., & Castaneda-Sceppa, C. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc*, 39(8), 1435-1445.
- Neuman, G. (1988). Special performance capacity. *The Olympic Book of Sport Medicine*.
- Nilwik, R., Snijders, T., Leenders, M., Groen, B. B., van Kranenburg, J., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. (2013). The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol*, 48(5), 492-498.

- Nishimura, A., Sugita, M., Kato, K., Fukuda, A., Sudo, A., & Uchida, A. (2010). Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(4), 497-508.
- Noh, J. W., Park, B. S., Kim, M. Y., Lee, L. K., Yang, S. M., Lee, W. D., Shin, Y. S., Kim, J. H., Lee, J. U., Kwat, T. Y., Lee, T. H., Kim, J. Y., Park, J., & Kim, J. (2015). Analysis of isokinetic muscle strength for sports physiotherapy research in Korean ssireum athletes. *J Phys Ther Sci*, 27 (10): 3223-6.
- Ostrowski, K. J., Wilson, G. J., Weatherby, R., Murphy, P. W., & Lyttle, A. D. (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J Strength Cond Res.*, 11, 148–154.
- Ozolin, N. G. (1983). Sistema contemporáneo de entrenamiento deportivo. La Habana: *Científico-Médica*. pp. 78-95.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*, 86(5), 1527-1533.
- Paoli, A., Moro, T., & Bianco, A. (2015). Lift weights to fight overweight. *Clin Physiol Funct Imaging*, 35(1), 1-6.
- Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Bianco, A., Palma, A., & Grimaldi, K. (2012). High-Intensity Interval Resistance Training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non-dieting individuals. *J Transl Med*, 10, 237.
- Paoli, A., Pacelli, F., Bargossi, A. M., Marcolin, G., Guzzinati, S., Neri, M., & Palma, A. (2010). Effects of three distinct protocols of fitness training on body composition, strength and blood lactate. *J Sports Med Phys Fitness*, 50(1), 43-51.

- Paulsen, G., Myklestad, D., & Raastad, T. (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *J Strength Cond Res*, 17(1), 115-120.
- Pauksnis, M. R., Evangelista, A. L., La Scala Teixeira, C. V., Alegretti Joao, G., Pitta, R. M., Alonso, A. C., Figueira, A. Jr., Serra, A. J., Baker, J. S., Schoenfeld, B. J., & Bocalini, D. S. (2017). Metabolic and hormonal responses to different resistance training system in elderly men. *Aging Male*, 22: 1-5.
- Paz-Franco, A., Rey, E., & Barcala-Furelos, R. (2017). Effects of Three Different Resistance Training Frequencies on Jump, Sprint, and Repeated Sprint Ability Performance in Professional Futsal Players. *J Strength Cond Res*.
- Peña, J., Roldán, R., & Vaamonde, R. (1985). Adaptación morfológica de las fibras musculares al ejercicio: Hipertrofia e hiperplasia. *Archivos de Medicina del Deporte*. 5 (2): 7-10.
- Pereira, A., Izquierdo, M., Silva, A. J., Costa, A. M., Bastos, E., Gonzalez-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2012). Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol*, 47(3), 250-255.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res*, 18(2), 377-382.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J Strength Cond Res*, 19(4), 950-958.

- Peterson, M. D., Rhea, M. R., Sen, A., & Gordon, P. M. (2010). Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev*, 9(3), 226-237.
- Phillips, S. M. (2000 ). Short-term training: when do repeated bouts of resistance exercise become training? *Can J Appl Physiol*, 25(3), 185-193.
- Pierce, J. R., Clark, B. C., Ploutz-Snyder, L. L., & Kanaley, J. A. (2006). Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *J Appl Physiol* (1985), 101(6), 1588-1595.
- Pinto, R. S., Gomes, N., Radaelli, R., Botton, C. E., Brown, L. E., & Bottaro, M. (2012). Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2140-2145.
- Pipes, T., & Wilmore, J. H. (1975). Isokinetic and isotonic strenght training in adult men. *Medicine and Cience in Sport*. 7 (4): 22-26.
- Pollock, M. L., Graves, J. E., Bamman, M. M., Leggett, S. H., Carpenter, D. M., Carr, C., & Fulton, M. (1993). Frequency and volume of resistance training: effect on cervical extension strength. *Arch Phys Med Rehabil*, 74(10), 1080-1086.
- Raastad, T., Kirketeig, A., & Wolf, D. (2012). Powerlifters improved strength and muscular adaptations to a greater extent when equal total training volume was divided into 6 compared to 3 training sessions per week. . *17th Annual Conference of the European College of Sport Science, Brugge*.
- Radaelli, R., Botton, C. E., Wilhelm, E. N., Bottaro, M., Lacerda, F., Gaya, A., & Pinto, R. S. (2013). Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women. *Exp Gerontol*, 48(8), 710-716.

- Radaelli, R., Fleck, S. J., Leite, T., Leite, R. D., Pinto, R. S., Fernandes, L., & Simao, R. (2015). Dose-response of 1, 3, and 5 sets of resistance exercise on strength, local muscular endurance, and hypertrophy. *J Strength Cond Res*, 29(5), 1349-1358.
- Ramirez-Velez, R., Hernandez, A., Castro, K., Tordecilla-Sanders, A., Gonzalez-Ruiz, K., Correa-Bautista, J. E., & Garcia-Hermoso, A. (2016). High Intensity Interval- vs Resistance or Combined- Training for Improving Cardiometabolic Health in Overweight Adults (Cardiometabolic HIIT-RT Study): study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*, 17(1), 298.
- Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. A., Freitas, T. T., Camacho, A., Jimenez-Diaz, J. F., & Alcaraz, P. E. (2017). Acute Physiological and Performance Responses to High-Intensity Resistance Circuit Training in Hypoxic and Normoxic Conditions. *J Strength Cond Res*, 31(4), 1040-1047.
- Ramos-Campo, D. J., Scott, B. R., Alcaraz, P. E., & Rubio-Arias, J. A. (2017). The efficacy of resistance training in hypoxia to enhance strength and muscle growth: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Sport Sci*, 1-12.
- Reeves, G. V., & Kraemer, R. R. (2006). Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol*, 101(6), 1616-1622.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Ball, S. D., & Burkett, L. N. (2002). Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *J Strength Cond Res*, 16(4), 525-529.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., & Burkett, L. N. (2002). Single versus multiple sets for strength: a meta-analysis to address the controversy. *Res Q Exerc Sport*, 73(4), 485-488.



- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc*, 35(3), 456-464.
- Rhodes, E. C., Martin, A. D., Taunton, J. E., Donnelly, M., Warren, J., & Elliot, J. (2000). Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med*, 34(1), 18-22.
- Rodriguez-García, P. L. (2007). Fuerza, su clasificación y pruebas de valoración. Universidad de Murcia. *Revista de la Facultad de Educación*. 2-10.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., & Reid, W. D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*, 43(8), 556-568.
- Romero-Arenas, S., Blazeovich, A. J., Martinez-Pascual, M., Perez-Gomez, J., Luque, A. J., Lopez-Roman, F. J., & Alcaraz, P. E. (2013a). Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. *Exp Gerontol*, 48(3), 334-340.
- Romero-Arenas, S., Martinez-Pascual, M., & Alcaraz, P. E. (2013b). Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging Dis*, 4(5), 256-263.
- Rønnestad, B. R., Egeland, W., Kvamme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F., & Raastad, T. (2007). Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J Strength Cond Res*, 21(1), 157-163.

- Ross, R., Dagnone, D., Jones, P. J., Smith, H., Paddags, A., Hudson, R., & Janssen, I. (2000). Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med*, 133(2), 92-103.
- Scott, B. R., Goods, P. S., & Slattery, K. M. (2016). High-intensity exercise in hypoxia: Is increased reliance on anaerobic metabolism important? *Frontiers in Physiology*, 7, 637.
- Schlumberger, A., Stec, J., & Schmidbleicher, D. (2001). Single- vs. multiple-set strength training in women. *J Strength Cond Res*, 15(3), 284-289.
- Schmidt, D., Anderson, K., Graff, M., & Strutz, V. (2016). The effect of high-intensity circuit training on physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness*, 56(5), 534-540.
- Schmidt, D., & Haralambie, G. (1981). Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. *Eur. J. Appl. Physiol* 46, 221-228.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2857-2872.
- Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med*, 43(3), 179-194.
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017a). Strength and hypertrophy adaptations between low-versus high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res*.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016a). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 46(11), 1689-1697.

- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017b). The dose-response relationship between resistance training volume and muscle hypertrophy: are there really still any doubts? *J Sports Sci*, 35(20), 1985-1987.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., Vigotsky, A. D., Franchi, M., & Krieger, J. W. (2017c). Hypertrophic effects of concentric versus eccentric muscle actions: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res*.
- Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., & Krieger, J. W. (2016b). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *J Strength Cond Res*, 30(7), 1805-1812.
- Schoenfeld, B. J., Ratamess, N. A., Peterson, M. D., Contreras, B., & Tiryaki-Sonmez, G. (2015). Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res*, 29(7), 1821-1829.
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol* (1985), 102(1), 368-373.
- Simao, R., Farinatti Pde, T., Polito, M. D., Viveiros, L., & Fleck, S. J. (2007). Influence of exercise order on the number of repetitions performed and perceived exertion during resistance exercise in women. *J Strength Cond Res*, 21(1), 23-28.
- Skidmore, B. L., Jones, M. T., Blegen, M., & Matthews, T. D. (2012). Acute effects of three different circuit weight training protocols on blood lactate, heart rate, and rating of perceived exertion in recreationally active women. *J Sports Sci Med*, 11(4), 660-668.

- Smilios, I., Tsoukos, P., Zafeiridis, A., Spassis, A., & Tokmakidis, S. P. (2014). Hormonal responses after resistance exercise performed with maximum and submaximum movement velocities. *Appl Physiol Nutr Metab*, 39(3), 351-357.
- Speakman, H. G. (1975). A study of cross-education in strength. *Aust J Physiother*, 21(1), 24-26.
- Staron, R., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., & Hikida, R. S. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76(3), 1247- 1255.
- Staron, R., Leonardi, M. J., Karapondo, D. L., Malicky, E. S., Falkel, J. E., Haferman, F. C., & Hikida, R. S. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance- trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology*, 70, 631-640.
- Stone, M. H., Chadler, T. J., Conley, M. S., Kramer, J. B., & Stone, M. E. (1996). Training to Muscular Failure: Is it Necessary?. *Strength & Conditioning Journal*, 18(3), 44-48.
- Stone, M. H., O'Bryant, H., & Garhammer, J. (1981). A hypothetical model for strength training. *J. Sports Med*, 21(4), 342-351.
- Stone, M. H., O'Bryant, H., Garhammer, J., McMillan, J., & Rozenek, R. (1982). A theoretical model of strength training. *Natl. Strength Cond. Assoc. J.*, August-September: 36-39.
- Suga, T., Okita, K., Morita, N., Yokota, T., Hirabayashi, K., Horiuchi, M., & Tsutsui, H. (2010). Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol* (1985), 108(6), 1563-1567.

- Suga, T., Okita, K., Takada, S., Omokawa, M., Kadoguchi, T., Yokota, T., & Tsutsui, H. (2012). Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol*, 112(11), 3915-3920.
- Taaffe, D., Duret, C, Wheeler, S, & Marcus, R. (1999). *Once-weekly resistance exercise improves muscle strength and neuromuscular performance in older adults* (Vol. 47).
- Takeshima, N., Rogers, M. E., Islam, M. M., Yamauchi, T., Watanabe, E., & Okada, A. (2004). Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults. *Eur J Appl Physiol*, 93(1-2), 173-182.
- Tan, B. (1999). Manipulating Resistance Training Program Variables to Optimize Maximum Strength in Men: A Review *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 289-304.
- Thomas, M. H., & Burns, S. P. (2016). Increasing Lean Mass and Strength: A Comparison of High Frequency Strength Training to Lower Frequency Strength Training. *Int J Exerc Sci*, 9(2), 159-167.
- Thornton, M. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 715-722.
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur J Appl Physiol*, 97(6), 643-663.
- Van Roie, E., Delecluse, C., Coudyzer, W., Boonen, S., & Bautmans, I. (2013). Strength training at high versus low external resistance in older adults: effects on muscle volume, muscle strength, and force-velocity characteristics. *Exp Gerontol* 48(11), 1351-1361.

- Veicsteinas, A., Orizio, C., & Perini, R. (1993). El sonido muscular. *Sport y Medicina*. 20: 11-15.
- Vera-Ibáñez, A., Colomer-Poveda, D., Romero-Arenas, S., Viñuela-García, M., & Márquez G. (2017). Neural adaptations after short-term wingate-based high-intensity interval training. *J Muskuloeskeletal Neuronal interact*. 1;17(4):275-282.
- Vierck, J., O'Reilly, B., Hossner, K., Antonio, J., Byrne, K., Bucci, L., & Dodson, M. (2000). Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biol Int*, 24(5), 263-272.
- Vincent, K. R., Braith, R. W., Feldman, R. A., Kallas, H. E., & Lowenthal, D. T. (2002). Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Arch Intern Med*, 162(6), 673-678.
- Viñuela Garcia M., Vera Ibáñez, A., Colomer Poveda, D., Márquez Sánchez, G., & Romero Arenas, S. (2016). Efecto de 12 sesiones de un entrenamiento interválico de alta intensidad sobre la composición corporal en adultos jóvenes. *Nutr Hosp*. 30; 33 (3): 272.
- Vittori, C. (1990). El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *Revista de Entrenamiento Deportivo*. 3 (4): 2-8.
- Waller, M. M., & Hannon, J. (2011). Resistance circuit training: Its application for the adult population. *Strength and Conditioning Journal*, 33(1), 16-22.
- Wang, Z. M., Pierson, R. N., & Heymsfield, S. B. (1992). "The five-level model: A new approach to organizing body-composition research": *American Journal of Clinical Nutrition*, 56(1), 19-28.

- Watts, K., Beye, P., Siafarikas, A., Davis, E. A., Jones, T. W., O'Driscoll, G., & Green, D. J. (2004). Exercise training normalizes vascular dysfunction and improves central adiposity in obese adolescents. *J Am Coll Cardiol*, 43(10), 1823-1827.
- Weineck, J. (1988). Entrenamiento óptimo. Barcelona: *Hispano Europea*.
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomee, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med*, 37(3), 225-264.
- West, D. J., Cunningham, D. J., Finn, C. V., Scott, P. M., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2014). The metabolic, hormonal, biochemical, and neuromuscular function responses to a backward sled drag training session. *J Strength Cond Res*, 28(1), 265-272.
- Westing, S. H., Cresswell, A. G., & Thorstensson, A. (1991). Muscle activation during maximal voluntary eccentric and concentric knee extension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(2), 104-108.
- Westing, S. H., & Seger, J. Y. (1989). Eccentric and concentric torque-velocity characteristics, torque output comparisons, and gravity effect torque corrections for the quadriceps and hamstring muscles in females. *Int J Sports Med*, 10(3), 175-180.
- Wilmore, J. H., Parr, R. B., Girandola, R. N., Ward, P., Vodak, P. A., Barstow, T. J., & Leslie, P. (1978). Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med Sci Sports*, 10(2), 79-84.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 25(11), 1279-1286.

- Willardson, J. M. (2006a). A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J Strength Cond Res*, 20(4), 978-984.
- Willardson, J. M. (2006b). A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J Strength Cond Res*, 20(4), 978-984.
- Willardson, J. M., & Burkett, L. N. (2008). The effect of different rest intervals between sets on volume components and strength gains. *J Strength Cond Res*, 22(1), 146-152.
- William, A., Selig, S., Hayes, A., Krum, H., Patterson, J., & Hare, D. L. (2007). Circuit resistance training in chronic heart failure improves skeletal muscle mitochondrial ATP production rate--a randomized controlled trial. *J Card Fail*, 13(2), 79-85.
- Williams, M. A., & Stewart, K. J. (2009). Impact of strength and resistance training on cardiovascular disease risk factors and outcomes in older adults. *Clin Geriatr Med*, 25(4), 703-714.
- Wolfe, B. L., LeMura, L. M., & Cole, P. J. (2004). Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. *J Strength Cond Res*, 18(1), 35-47.
- Yang, S., Alnaqeeb, M., Simpson, H., & Goldspink, G. (1996). Cloning and characterization of an IGF-1 isoform expressed in skeletal muscle subjected to stretch. *J Muscle Res Cell Motil*, 17(4), 487-495.
- Zatsiorsky, V. M., Gregory, R. W., & Latash, M. L. (2002). Force and torque production in static multifinger prehension: biomechanics and control. I. Biomechanics. *Biol Cybern*, 87(1), 50-57.



- Zhang, K., Sun, M., Werner, P., Kovera, A. J., Albu, J., Pi-Sunyer, F. X., & Boozer, C. N. (2002). Sleeping metabolic rate in relation to body mass index and body composition. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 26(3), 376-383.



## **XIII – ANEXOS**



**ANEXO 1: MODELO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Yo,....., con  
DNI:.....

DECLARO:

Haber sido informado/a del estudio y del procedimiento de la investigación. Los investigadores que van a acceder a mis datos personales y a los resultados de las pruebas son:

**Dr. Pedro Emilio Alcaraz Ramón, Ldo. Cristian Marín Pagán, Ldo. A. Joaquín Carrasco Martínez.**

Asimismo, he podido hacer preguntas del estudio, comprendiendo que me presto de forma voluntaria al mismo y que en cualquier momento puedo abandonarlo sin que me suponga perjuicio de ningún tipo.

CONSIENTO:

- 1.-) Someterme a las siguientes pruebas exploratorias (en su caso):
- 2.-) El uso de los datos obtenidos según lo indicado en el párrafo siguiente:  
En cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, le comunicamos que la información que ha facilitado y la obtenida como consecuencia de las exploraciones a las que se va a someter pasará a formar parte del fichero automatizado INVESALUD, cuyo titular es la FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN ANTONIO, con la finalidad de INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA EN LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES Y DE CIENCIAS DE LA SALUD. Tiene derecho a acceder a esta información y cancelarla o rectificarla, dirigiéndose al domicilio de la entidad, en Avda. de los Jerónimos de Guadalupe 30107 (Murcia). Esta entidad le garantiza la adopción de las medidas oportunas para asegurar el tratamiento confidencial de dichos datos.

En Guadalupe (Murcia) a..... de..... de.....

**ANEXO 2: TEST Y PRUEBAS DE VALORACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA***Test 6 RM*

El test para calcular la carga correspondiente a 6 RM (6 repeticiones máximas), se realiza con sobrecargas en todos los ejercicios que van a comprender el entrenamiento (press de pecho, extensión de cuádriceps, curl de bíceps, jalones al pecho, flexión femoral y press de hombro).

4. No presenta riesgos algunos para el participante.

*Control de la frecuencia cardiaca*

El control de la frecuencia cardiaca será realizado utilizando un pulsómetro convencional, que utiliza una cinta en el pecho y un reloj de muñeca.

5. No presenta riesgos algunos para el participante.

*Test de dinamometría isocinética*

La dinamometría isocinética nos permite conocer la fuerza isocinética máxima de la musculatura sometida a diferentes velocidades de ejecución. En este caso, se realizará una flexo-extensión en la articulación de la rodilla, para evaluar la fuerza en el tren inferior.

6. No presenta riesgos algunos para el participante.

*Densitometría absorciométrica de energía dual*

La Densitometría ósea, también llamada absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA), se utiliza principalmente para diagnosticar la osteoporosis, gracias a la toma de imágenes con rayos X. Se producen imágenes del interior del cuerpo, ofreciendo resultados con un margen de error mucho menor que con técnicas tradicionales. Por lo que al ser un procedimiento simple, rápido y no invasivo, nos permitirá obtener una imagen interior detallada, conociendo composición ósea, porcentajes grasos y musculares.

7. Riesgos que presenta: Existe una leve exposición a radiación. La dosis de la radiación efectiva de este procedimiento está en torno a 0,01 mSv, que es aproximadamente equivalente a la que recibe una persona promedio de radiación de fondo en un día.

**ANEXO 3: PROTOCOLOS Y DINÁMICA DE ENTRENAMIENTO**

Este proyecto está encuadrado dentro del campo del Alto Rendimiento Deportivo y más concretamente dentro de la investigación relativa a los programas de entrenamiento de la capacidad física básica de la fuerza con una propuesta de circuito de alta intensidad, Heavy Resistance Circuit Training (HRC).

El objetivo de dicha propuesta es la de establecer una comparación objetiva de resultados en sujetos con características similares (principiantes) tras aplicar cargas de entrenamiento en un circuito cerrado de entrenamiento de alta intensidad (HRC), y utilizando diferentes frecuencias con la intención de determinar el número óptimo de sesiones semanales de HRC en este tipo de población. Para ello, se prevé un tamaño de muestra de 65 sujetos repartidos en cuatro grupos con un intervalo de edad de entre 18-35 años. Cada grupo tendrá la misma propuesta de entrenamiento con la distinción de realizarlo durante 1, 2 o 3 sesiones semanales. El estudio tendrá una duración total de 11 semanas: 1 semana de pre-test, 1 semana de familiarización, 8 semanas de entrenamiento gratuito en gimnasio (USC) y 1 semana de post-test. El inicio será el día 13 de enero y finalizará el 4 de abril.



**ANEXO 4:** DOCUMENTO INFORMATIVO PARA SUJETOS SOMETIDOS AL ESTUDIO*A) En qué consiste y para qué sirve*

Este proyecto está encuadrado dentro del campo del Alto Rendimiento Deportivo y más concretamente dentro de la investigación relativa a los programas de entrenamiento de la capacidad física básica de la fuerza con una propuesta de circuito de alta intensidad, Heavy Resistance Circuit Training (HRC). El objetivo de dicha propuesta es la de establecer una comparación objetiva de resultados en sujetos con características similares (principiantes) tras aplicar cargas de entrenamiento en un circuito cerrado de entrenamiento de alta intensidad (HRC) y utilizando diferentes frecuencias con la intención de determinar el número óptimo de sesiones semanales de HRC en este tipo de población. Para ello, se prevé un tamaño de muestra de 65 sujetos repartidos en cuatro grupos con un intervalo de edad de entre 18-35 años. Cada grupo tendrá la misma propuesta de entrenamiento con la distinción de realizarlo durante 1, 2 o 3 sesiones semanales. El estudio tendrá una duración total de 11 semanas: 1 semana de pre-test, 1 semana de familiarización, 8 semanas de entrenamiento gratuito en gimnasio y 1 semana de post-test. El inicio será el día 13 de enero y finalizará el 4 de abril.

*B) Cómo se realiza*

En primer lugar, se realizarán reuniones informativas con la intención de involucrar a los sujetos interesados en formar parte en el estudio. Todos los participantes serán informados de los objetivos del estudio y protocolos de actuación, así como de los posibles riesgos que éstos comprendan, respondiendo en todo caso a sus dudas y consultas. En las primeras semanas, se pretende enseñar la ejecución técnica de los ejercicios así como el ajuste de las cargas individualizadas para cada ejercicio. Durante el periodo de entrenamiento (8 semanas), se aplicará un mismo protocolo de entrenamiento. Se realizaran dos periodos de test antes y después de la fase de 8 semanas de entrenamiento. Todas las fases del proceso de investigación (test y entrenos), estarán coordinadas, supervisadas y dirigidas por los investigadores responsables del estudio.

*C) Qué efectos le producirá*

Mejoras en la composición corporal (ganancias en masa muscular, pérdida de masa grasa, etc.), ganancias de fuerza, potencia, aumentó del consumo máximo de oxígeno, mejora de la capacidad funcional, en definitiva, mejora de la salud y del rendimiento físico.

*D) En qué le beneficiará*

Al mejorar la condición física, se mejorará el rendimiento físico a la hora de trabajar la fuerza en circuito de Alta intensidad en gimnasio debido al aumento de la resistencia a nivel local y general así como del resto de las capacidades físicas. También conocerá la frecuencia mínima semanal que deberá realizar este entrenamiento para que se obtengan mejoras significativas.

*E) Que riesgos tiene*

Sufrir algún tipo de lesión al movilizar cargas elevadas o por una mala ejecución técnica en la realización de los ejercicios, aunque este riesgo es mínimo, ya que previamente se realizará un periodo de enseñanza-aprendizaje de la ejecución técnica de cada ejercicio.

*F) Situaciones especiales que deben ser tenidas en cuenta*

- *Ninguna*

*G) Otras informaciones de interés (a considerar por el/la profesional)*

*H) Otras cuestiones para las que le pedimos consentimiento:* Para la utilización de los datos personales y los datos recogidos en los test en trabajos académicos como trabajos de fin de grado, trabajos de fin de máster, tesis doctoral, etc.

**ANEXO 5: PLANILLA DE CONTROL DE ALIMENTACIÓN UTILIZADA**

NOMBRE..... EDAD..... PESO..... TALLA.....  
 ESTUDIO HRC vs. TS .....  
 CÓDIGOS DE MEDIDAS:  
 C:cucharada sopera (grande) = 10 cc      Plato pequeño: Pp = 50 gr      Panecillo: P = 60 gr  
 Cu:cucharadita (pequeña) = 5 cc      Plato llano: Pl = 90 gr      Vaso: V = 200 gr  
 Plato hondo: Ph = 100 gr      Rebanada: R = 20 gr

FECHA:      DÍA DE LA SEMANA:

Comida	Alimento o bebida, preparación (utilizar una línea para cada alimento)	Cantidad en medidas caseras
DESAYUNO		
MEDIA MAÑANA		
COMIDA		
MERENDA		
CENA		
ANTES DE ACOSTARSE		
OTROS		