



universidad
de león

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS

**Efectos sobre la masa muscular y las manifestaciones
de la fuerza, del entrenamiento unilateral excéntrico vs
concéntrico**

Ramón Candia Luján

León, 2014



universidad
de león

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS

Efectos sobre la masa muscular y las manifestaciones de la fuerza, del entrenamiento unilateral excéntrico vs Concéntrico

Memoria presentada por el
Licenciado **Ramón Candia Luján**
para la obtención del título de
Doctor en Ciencias de la Actividad
Física y del Deporte.

DIRECTOR: Prof. Dr. José Antonio de Paz Fernández

León, 2014

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
ABREVIATURAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento al Dr. José Antonio de Paz Fernández por permitirme ser parte de su grupo de trabajo, por todo el apoyo que me ha prestado para la realización de este trabajo y sobre todo por ser una gran persona.

A las autoridades de la Universidad Autónoma de Chihuahua y a las de la Facultad de Ciencias de la Cultura Física en México por todas las facilidades otorgadas para la realización de los estudios.

A Ilde y David porque siempre han estado listos para resolverme cualquier problema de gestión.

A los todos los jóvenes que formaron parte del proyecto: Aitana, Alejandro, Ana Andrés, Ángel, Aritz, Asier, Carlos, Cecilia, Cynthia, David, Edurne, Esperanza, Eva, Íñigo, Isabel, Jon, Marco, María, Martha, Miguel, Raquel, Sergio gracias por su gran disposición.

A los compañeros del Seminario 85: Edson, Santiago, Víctor, Fredy, Xerman, Sofía, Mercedes, Osvaldo y Claudia, gracias por todo lo que compartieron para que este trabajo pudiera concluir.

A mi padre Saúl y a mis hermanas Silvia, Marisela, Martha y Lety, por todo el apoyo que me han dado, no solo en esta parte de mi vida, sino a lo largo de toda ella, gracias por estar siempre a mi lado

A mis hijos Kevin, Nahomi y Mariana ya que son parte fundamental de mi vida y el motivo de la misma.

A mi esposa Nely por su apoyo invaluable en estos últimos años.

Gracias al Programa de mejoramiento del profesorado de la Secretaría de Educación Pública por la beca otorgada para la realización de los estudios



En memoria de mi Madre Guadalupe

ABREVIATURAS

1-RM.- Una repetición máxima

Δ .- Cambio de valor de la variable

ARED.- *Advanced Resistive Exercise Device*

CAA.- Ciclo Acortamiento Alargamiento

CON.- Concéntrico (a)

CSA.- Corte transversal de la musculo (por sus siglas en inglés Cross Sección Area)

DOMS.- *Delayed Onset Muscle Soreness*

DXA.- Absorciometría dual por rayos X

EMG.- Electromiografía

EXC.- Excéntrico (a)

FWED.- *Flywheel Exercise Device*

IET.- *Inertial Exercise Trainer*

IMR.- Imagen de Resonancia Magnética

ISO.- Isotmétrico

ITMS.- *Inertial Training and Measurement System*

MM.- Masa Magra

OMS.- Organización Mundial de la Salud

PC.- Pierna izquierda entrenada concéntricamente

PE.- Pierna izquierda entrenada excéntricamente

PM.-Potencia Media

Rev/min.- Revoluciones por minuto

ROI.- Región de interés (por sus siglas en inglés Region Of Interes)

Sig.- Significación estadística

SUM.- Sentadilla Unilateral Modificada

TC.- Tomografía Computarizada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acciones musculares	20
Figura 2. Cicloergómetros para trabajar positiva y negativamente	45
Figura 3. Cicloergómetro de <i>Krogh</i> modificado	46
Figura 4. Cicloergómetro para brazos	46
Figura 5. <i>Eccentron ergometer</i>	47
Figura 6. Aparato diseñado para liberar la barra en la parte baja del ejercicio	47
Figura 7. Máquina para sobrecargar la fase excéntrica	48
Figura 8. Máquina Negator	48
Figura 9. Máquina isocinética para aislar la fase excéntrica	49
Figura 10. Máquina de volante inercial para brazos	50
Figura 11. Máquina multigym YoYo Inertial Technology ®	51
Figura 12. El aparato Versapulley	53
Figura 13. <i>Inertial Exercise Trainer</i> (IET)	54
Figura 14. <i>Advanced Resistive Exercise Device</i> (ARED)	54
Figura 15. <i>Inertial Training and Measurement System</i> (ITMS)	55
Figura 16. Diseño de la investigación.....	63
Figura 17. Regiones de interés (ROIs) de los muslos evaluados.....	64
Figura 18. Sentadilla unilateral modificada (SUM) en máquina <i>Smith</i>	66
Figura 19. Pantalla del software utilizado para medir la potencia.....	67
Figura 20. Entrenamiento unilateral en máquina inercial	68
Figura 21. Captura de pantalla del software utilizado para monitorizar el entrenamiento	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de los participantes.....	73
Tabla 2. Potencia promedio de las acciones concéntricas y excéntricas durante el entrenamiento.....	73
Tabla 3. Duración promedio de las acciones aisladas, durante el ciclo concéntrico y excéntrico y tiempo efectivo del entrenamiento.....	74
Tabla 4. Valores iniciales de la fuerza máxima y masa muscular de la pierna derecha e izquierda.....	75
Tabla 5. Comparación de la potencia entre la pierna derecha e izquierda	75
Tabla 6. Masa magra antes y después del entrenamiento	76
Tabla 7. Masa magra de mujeres y hombres antes y después del entrenamiento	77
Tabla 8. Fuerza máxima antes y después del entrenamiento	78
Tabla 9. Comparación de la fuerza máxima entre hombres y mujeres	78
Tabla 10. Potencia desarrollada antes y después del entrenamiento	79
Tabla 11. Potencia desarrollada a diferentes cargas antes y después del entrenamiento entre hombres y mujeres.....	80

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	5
3. INTRODUCCIÓN.....	9
4. ANTECEDENTES.....	13
4.1 Manifestaciones de la Fuerza muscular: concepto y formas de evaluarla	15
4.2. Evaluación de la fuerza máxima, potencia y masa muscular	16
4.2.1. Fuerza máxima	16
4.2.2. Potencia muscular	18
4.2.3. Masa muscular.....	20
4.3. Las acciones excéntricas y sus características	22
4.3.1. Costo energético de las acciones musculares excéntricas.....	24
4.3.2. La actividad muscular durante las acciones excéntricas	25
4.3.3. Las acciones excéntricas, el daño y el dolor muscular	27
4.4. Entrenamiento excéntrico e hipertrofia muscular	28
4.5. Entrenamiento excéntrico y fuerza muscular	33
4.6. Entrenamiento excéntrico y potencia muscular	36
4.7. Entrenamiento unilateral y entrenamiento cruzado	38
4.8. Asimetría bilateral.....	40
4.9. El entrenamiento excéntrico en la salud y el deporte	42
4.10. El entrenamiento excéntrico y la tecnología inercial	44
5. OBJETIVOS.....	57
6. MÉTODO.....	61
6.1. Diseño	63
6.2. Participantes	63

6.3.	Medición de la masa muscular.....	63
6.4.	Medición de la fuerza máxima.....	65
6.5.	Medición de la potencia.....	66
6.6.	Programa de entrenamiento.....	67
6.7.	Análisis estadístico.....	69
7.	RESULTADOS	71
7.1.	Sujetos.	73
7.2.	Programa de entrenamiento.....	73
7.3.	Valores iniciales	75
7.4.	Masa Muscular	75
7.5.	Fuerza muscular	77
7.6.	Potencia muscular.....	78
8.	DISCUSIÓN.....	81
8.1.	Valores Iniciales de la masa, fuerza y potencia muscular	83
8.1.1.	Masa muscular	84
8.1.2.	Fuerza máxima	84
8.1.3.	Potencia muscular	85
8.2.	Efectos del entrenamiento excéntrico y concéntrico.	86
8.2.1.	Masa muscular	86
8.2.2.	Fuerza muscular	91
8.2.3.	Potencia muscular	94
8.3.	Comparación de las respuestas al entrenamiento entre sexos	95
9.	CONCLUSIONES	99
10.	LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	103
11.	REFERENCIAS	107

1. RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio fue determinar el efecto del entrenamiento unilateral excéntrico (EXC) y el concéntrico (CON) sobre la masa muscular y las manifestaciones de la fuerza. Para responder al objetivo planteado se realizó un entrenamiento con duración de ocho semanas que constaba de dos sesiones de entrenamiento unilateral por semana del press de pierna en máquina de volante inercial. Con una pierna realizan acciones concéntricas (empujaban contra la máquina) y con la pierna contraria realizaban acciones excéntricas (frenaban el regreso) las sesiones constaban de 4 series de 7 repeticiones con una pausa de recuperación entre serie de 2 minutos. Participaron en la investigación 24 sujetos (12 mujeres y 12 hombres) con una edad de $20,9 \pm 2,5$ años, estatura de 171 ± 9 cm y un peso de $66,5 \pm 14,5$ kg, todos ellos físicamente activos. Las variables evaluadas antes y después del entrenamiento fueron; masa magra de los muslos, para lo cual se empleó un densitómetro, fuerza máxima de cada una de las piernas con una repetición máxima (1-RM) en la sentadilla unilateral modificada (SUM) y la potencia muscular de cada pierna con la SUM con cinco diferentes cargas (5 porcentajes de la 1-RM) para lo cual se utilizó un transductor de posicionamiento lineal (encoder). Se compararon los resultados obtenidos entre la pierna que entrenó concéntricamente y la que lo hizo excéntricamente. Los principales resultados obtenidos fueron; el muslo de la pierna que entrenó excéntricamente incrementó 213 ± 216 gr mientras que el muslo contrario 132 ± 225 gr con una diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en ambos casos, cuando se compararon las ganancias de los dos tipos de entrenamiento hubo diferencia significativa ($p \leq 0,05$). La pierna que entrenó excéntricamente tuvo un incremento de fuerza de $13,0 \pm 11$ kg la pierna contraria incrementó $8,8 \pm 11,6$ kg en ambos casos también hubo diferencia significativa ($p \leq 0,05$). La potencia de la pierna que entrenó excéntricamente incrementó significativamente ($p \leq 0,05$) con los siguientes valores $35,3 \pm 66,8$ W, $63,5 \pm 103$ W y $68,7 \pm 77$ W al 30,60 y 70% de la carga respectivamente. La pierna entrenada excéntricamente incrementó significativamente ($p \leq 0,05$) en $31,5 \pm 66,8$ W y $44,1 \pm 86,5$ W para las cargas de 40 y 70% respectivamente, en los valores restantes no hubo cambio. Cuando se compararon los incrementos por tipo de entrenamiento solo con la carga del 60% hubo diferencia significativa

($p \leq 0,05$). En la comparación de los cambios producidos por el entrenamiento entre mujeres y hombres no hubo diferencia significativa. Por lo que se puede concluir que el entrenamiento inercial produce un incremento significativo en la fuerza y la masa muscular tanto con acciones excéntricas como concéntricas, aunque en mayor medida con las primeras, y que mujeres y hombres tienen una respuesta similar al entrenamiento unilateral excéntrico y concéntrico.

2. ABSTRACT

This study had as main aim to determine the effect of unilateral eccentric training (EXC) and concentric (CON) on muscle mass and manifestations of strength. To respond to the stated objective was conducted a training program of eight weeks consisted of two training sessions per week of unilateral leg press inertial flywheel machine. With one leg performed concentric actions (pushing against the machine) and the opposite leg performed eccentric actions (slowing the return) sessions consisted of 4 sets of 7 repetitions with a pause of rest between series of 2 minutes. Participated in the investigation 24 subjects (12 women and 12 men) aged $20,9 \pm 2,5$ years, height 171 ± 9 cm and a weight $66,5 \pm 14,5$ kg, all physically active. The variables assessed before and after training were; thigh lean mass, for which a densitometer was used, maximal strength of each leg with one repetition maximum (1-RM) in the modified unilateral squat (SUM), and muscle power of each leg was assessed using the SUM with five different loads (five percentages of the 1-M) for which a linear position transducer (encoder) was used. The results obtained from the trained leg concentrically and eccentrically were compared. The main results; the thigh of the leg that trained eccentrically increased 213 ± 216 gr while the opposite thigh 132 ± 225 gr with a significant difference ($p \leq 0,05$) in both cases, when the two types of training were compared there was no significant difference ($p \leq 0,05$). The maximal strength of the leg eccentrically trained had increased $13,0 \pm 11$ kg, the opposite leg increased 11.6 ± 8.8 kg in both cases there was also significant ($p \leq 0,05$). The power of eccentrically trained leg increased significantly ($p \leq 0,05$) with the following values $35,3 \pm 66,8$ W, $63,5$ W and $68,7 \pm 103 \pm 77$ W 30, 60 and 70% load respectively. The eccentrically trained leg increased significantly ($p \leq 0,05$) $31,5 \pm 66,8$ $44,1 \pm 86,5$ W and W for loads of 40 and 70% respectively, in the remaining values no change were detected. When increments increases by type of training were compared there was with significant difference ($p \leq 0,05$) only in the load of 60%. In the comparison of the changes produced by training between women and men there was no significant difference. So we conclude that the inertial training produces significant increases in mass, muscle strength and power, but only in muscle mass there was significant difference between the two types of training, even

more with the first, and that women and men have a similar response to unilateral training eccentric and concentric.

3. INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas se ha incrementado el número de personas que llevan a cabo entrenamiento de fuerza. A los gimnasios asisten tanto personas que quieren incrementar la fuerza muscular para mejorar su desempeño como aquellas que lo hacen para incrementar la masa muscular y por lo tanto mejorar su estética. A raíz de este fenómeno han surgido una gran cantidad de métodos de entrenamiento así como aparatos que se asegura son mejores para el desarrollo tanto de la masa como de la fuerza muscular.

Dentro de las formas más utilizadas para el entrenamiento con resistencia son los ejercicios isotónicos con pesas libres o en aparatos convencionales, son ejercicios que constan de dos fases, la EXC y la CON. Sobre estas dos fases del movimiento ha habido mucha controversia acerca de cuál de las dos es más efectiva para el desarrollo de la masa y la fuerza muscular. Es difícil compararlas debido a que poseen diferentes características, sin embargo, durante la fase EXC se es capaz de soportar más carga que en la concéntrica. Por lo tanto el uso de aparatos convencionales para el entrenamiento de fuerza no permite que se estimule al máximo la fase EXC ya que va a depender de la fuerza de que se pueda desarrollar en la CON.

Debido a esta subestimulación de la fase EXC diversos investigadores han llevado a cabo estudios donde han desarrollado diferentes aparatos para sobrecargar específicamente esta parte del movimiento y ver sus efectos sobre la masa y fuerza muscular.

Cuando se asiste a un gimnasio se puede observar que la mayoría de las personas que realizan ejercicio con pesas le prestan mayor (sino es que únicamente) atención a la fase concéntrica (positiva) que a la fase excéntrica (negativa), ya que regularmente no les interesa bajar el peso de una forma controlada y lo hacen desaprovechando esta parte del movimiento que le puede reportar igual o más ganancias que el levantar el peso.

Por todo lo anteriormente expuesto surgen las preguntas ¿Cuál fase del movimiento es más efectiva para el desarrollo de la masa, fuerza y potencia muscular: la concéntrica o la excéntrica?, otra pregunta que surge ¿responden

igual en lo referente al desarrollo de la masa, fuerza y potencia muscular los hombres y las mujeres?

Por lo que decidimos comparar los dos tipos de entrenamiento y determinar sus efectos sobre las variables antes mencionadas en un grupo de jóvenes universitarios, compuesto tanto de hombres como mujeres.

4. ANTECEDENTES

4.1 Manifestaciones de la Fuerza muscular: concepto y formas de evaluarla

El desarrollo de la fuerza muscular ha cobrado importancia en los últimos años, en los años 70s y 80s los ejercicios recomendados por organizaciones profesionales y científicos, entre ellas el Colegio Americano de Medicina del Deporte y la Asociación Americana del Corazón, hacían énfasis en el ejercicio aeróbico como componente central de los programas de ejercicio orientados a la salud, mencionando muy escuetamente el trabajo de fuerza muscular y de potencia (Brooks *et al.*, 2004). Sin embargo, en tiempos recientes dichas organizaciones le han dado mayor importancia a las actividades que permiten mantener o incrementar la fuerza muscular ya que mencionan que eso promueve y mantiene la salud además de la independencia física (Haskell *et al.*, 2007). Estos aspectos están expresamente recogidos en las recomendaciones de ejercicio físico que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha promulgado en 2010, donde el ejercicio de fuerza está en las recomendaciones tanto de niños, jóvenes, adultos o mayores. En cuanto al entrenamiento de fuerza en el deporte, únicamente era realizado, por aquellos atletas de fuerza y por los que requerían mayor masa muscular como los fisicoculturistas. Sin embargo, en las últimas tres décadas ha ganado popularidad de entrenamiento debido al efecto que ejerce en el incremento de la fuerza misma, la potencia, la velocidad y el mejoramiento de desempeño atlético (Kraemer y Ratamess, 2004).

Desde la perspectiva de la mecánica, la fuerza se define como toda acción de un cuerpo material sobre otro capaz de provocar cambios en el estado de movimiento o reposo (Naclerio, 2010). Sin embargo, desde el punto de vista de la actividad física existen diversas definiciones entre las que encontramos aquella que la define como una capacidad física que permite por los esfuerzos musculares venciendo resistencias elevadas externas (Dietrich *et al.*, 2001). Para Siff y Verkhoshansky (2004) . También se define como la capacidad de los músculos o de un grupo muscular para generar tensión muscular. Mientras que Mirella (2001) dice que es la capacidad del ser humano que permite vencer una resistencia u oponerse a ella mediante la tensión muscular. Por su parte

González Badillo y Gorostiaga (1995) se adentran más en la fisiología muscular y la definen como la capacidad de producir tensión que tiene el músculo al activarse o, como se entiende habitualmente, al contraerse. Para Ortiz (1999) es la capacidad de vencer una resistencia externa o reaccionar contra la misma mediante tensión muscular. Jaric *et al.*, (2002) la definen como la fuerza (o torque) máxima desarrollada durante una contracción voluntaria máxima. Sin embargo, Weineck (2005) ve difícil una definición precisa ya que como comenta abarca tanto aspectos físicos como psíquicos, tipos de fuerza, trabajo, acciones musculares y muchos otros factores que influyen, por lo que la divide en función de sus manifestaciones en tres tipos:

Fuerza máxima. Es la fuerza máxima posible que el sistema neuromuscular es capaz de ejercer en una contracción voluntaria.

Fuerza rápida (potencia). Tiene que ver con el sistema neuromuscular, para mover el cuerpo, partes del cuerpo u objetos con velocidad alta.

Resistencia a la fuerza. Es la capacidad del organismo durante la realización de contracciones contra una resistencia, prolongadas en el tiempo

4.2. Evaluación de la fuerza máxima, potencia y masa muscular

4.2.1. Fuerza máxima

Evaluar la fuerza máxima y la potencia muscular es fundamental tanto en el desempeño atlético como en el humano, por lo que el conocimiento del nivel de fuerza actual es importante tanto para la evaluación de la capacidad funcional ocupacional como en la prescripción del ejercicio para el desempeño y la rehabilitación atlética (Brown y Weir, 2001).

A través de los años se han usado diversas formas e implementos para medir la fuerza máxima, Entre los que encontramos los dinamómetros, cuando se quiere determinar el torque máximo se han empleado regularmente aparatos isocinéticos (Jaric *et al.*, 2002). Sin embargo, estas formas de evaluación requieren de aparatos sofisticados así como personal especializado en su uso, además de no ser muy específicos de los patrones de movimiento que se

realizan tanto en la vida diaria como en el deporte (Levinger *et al.*, 2009). En contraste está el método de una repetición máxima (1-RM) de forma isotónica, definido como el peso máximo que puede ser levantado una sola vez con una técnica correcta de levantamiento. Para llevar a cabo dicho test el individuo ejecuta una repetición del ejercicio elegido mientras la carga es incrementada progresivamente hasta que se consiga únicamente una sola repetición (Taylor y Fletcher, 2012). Aunque en el contexto médico a veces consideran que este método de evaluación está contraindicado para sujetos que no tienen experiencia en levantamiento de pesas, y postulan que puede causar daño y lesión muscular (Abadie y Wentworth, 2000) y de requerir un esfuerzo máximo por parte de los sujetos lo que presupone un alto nivel de motivación que no todos tienen (Naclerio *et al.*, 2009). Por ello se han llevado a cabo diversos estudios, con cargas submáximas, para predecir la 1-RM y para ahorrar a estos sujetos a este tipo de evaluaciones. Dahoney *et al.*, (2002) llevaron a cabo un estudio con sujetos jóvenes para predecir la 1-RM en la que utilizaron cargas submáximas, con las que realizaban de 4 a 6 y de 7 a 10 repeticiones. Encontraron que el uso de la carga donde realizaban de 4 a 6 repeticiones era más preciso para la predicción de 1-RM. LeSuer *et al.*, (1997) y Naclerio *et al.*, (2009) examinaron 7 fórmulas para la predicción de la 1-RM, en ellas utilizaban diferente número de repeticiones (desde 4 hasta 10), ambos grupos encontraron que las diferentes fórmulas eran precisas para la estimación de la 1-RM. Aunque consideraron que muchas veces este tipo de evaluación está limitada por la fatiga muscular acumulada a lo largo de las contracciones frente a las sucesivas y progresivas cargas durante la prueba.

Aunque el método de la 1RM puede no ser aconsejado para algunas personas que no tienen experiencia en el levantamiento de pesas, es considerado como el mejor método para evaluar la fuerza máxima (Abadie y Wentworth, 2000) ya que es sencillo y confiable (Levinger *et al.*, 2009). Para que la evaluación sea más precisa y confiable se deben seguir ciertas indicaciones que a continuación se mencionan; el sujeto a evaluar debe realizar un calentamiento de 3 a 5 minutos con actividad ligera en la que estén involucrados los músculos a evaluar; posteriormente deberá llevar a cabo un estiramiento estático, seguido de un calentamiento específico de 8 repeticiones con un peso ligero, y

después iniciar la evaluación con incrementos de peso hasta la falla. Se debe tomar en cuenta la pausa de recuperación entre cada intento la cual no deberá ser menor de un minuto ni mayor de cinco minutos. En cuanto al número de intentos lo ideal es que sea entre tres y cinco para evitar que la fatiga influya en el resultado (Brown y Weir, 2001). Debido a que el método de la 1-RM no requiere equipamiento costoso y que refleja la capacidad para el desempeño del en el deporte, los test de fuerza máxima son la elección de muchos profesionales del acondicionamiento físico (Baechle y Earle, 2008)

4.2.2. Potencia muscular

La potencia ha sido considerada a lo largo del tiempo, como un elemento esencial tanto en el desempeño deportivo como en la realización de actividades diarias y tareas laborales (Canavan y Vescovi, 2004) por lo que durante muchas décadas los biomecánicos han estado trabajando para desarrollar técnicas para calcular el flujo de trabajo y potencia mecánica de las articulaciones del cuerpo durante el movimiento (Knudson, 2009). La medición de la potencia está caracterizada por acciones musculares breves y de alta velocidad de movimiento (Newton *et al.*, 1996) en los que se incluyen los *sprints*, lanzamientos, patadas y saltos, entre otras actividades.

El salto vertical es un método sencillo de aplicar y es de los más usados para predecir o estimar la potencia muscular del tren inferior (Bosco *et al.*, 1983), si bien es discutible, aceptándose más como una medida de saltabilidad que de la potencia muscular estrictamente hablando. Sayers *et al.* (1999) llevaron a cabo un estudio para validar dos ecuaciones para estimar la potencia muscular las cuales utilizan la distancia del salto y el peso corporal además de compararlas con el salto vertical (SV) y el salto contramovimiento (SCM). Concluyeron que el SV era más preciso que el SCM con el uso de cualquiera de las dos fórmulas. Por su parte Lara *et al.*, (2006) compararon cuatro ecuaciones (además de las dos anteriormente citadas también compararon la de Sayers *et al.*, y Canavan *et al.*) usando como estándar la plataforma de contacto. Sus resultados mostraban una alta correlación (0,89 y 0,90) entre las cuatro ecuaciones y la plataforma de contacto.

En los últimos años se han desarrollado diferentes técnicas e instrumentos para medir la potencia muscular, entre las que encontramos plataformas de contacto, acelerómetros, *encoders* (transductor de movimiento lineal) y plataformas de fuerza, estas últimas consideradas como el estándar de oro cuando de medir la fuerza se trata, aunque, debido a sus limitaciones de costo y tamaño (Comstock *et al.*, 2011) hacen que no sea de fácil acceso para muchos investigadores y entrenadores, en lo que se requiere utilizar instrumentos precisos y de costo accesible. En la actualidad es común ver que diferentes investigadores utilizan este método para medir la potencia de los sujetos en sus estudios, por ejemplo Chiu *et al.*, (2004), Cormie *et al.*, (2007), Dayne *et al.*, (2011), Alcaraz *et al.*, (2011), y Jandacka *et al.*, (2014) entre otros.

El *encoder* (transductor de posición lineal) constituye una herramienta válida para detectar la posición de la carga durante movimientos lineales como aquellos que se realizan en el entrenamiento con pesas (Naclerio *et al.*, 2009). Un *encoder* rotacional consiste en un cable retráctil que se enrolla sobre un eje dicho cable se fija a la resistencia a vencer. La velocidad y distancia es medida en función de la rotación del eje, sobre el que se enrolla el cable y que a su vez, en el extremo libre está sujeto a la resistencia que se mueve durante el ejercicio, el codificador tiene con una resolución de 1 milisegundo. El *encoder* está conectado a un ordenador por medio de una interface por lo que conociendo la carga y la velocidad de desplazamiento de la misma se obtienen los valores pico y medio de la potencia (Argus *et al.*, 2012).

En cuanto a la variable de la potencia monitorizada, puede ser la pico o la media, la potencia máxima en un momento determinado el rango de movimiento y el promedio de potencia durante todo el rango de movimiento, respectivamente. De acuerdo con Dugan *et al.*, (2004) es técnicamente correcto reportar cualquiera de los dos valores ya que teóricamente ambos valores representan de forma adecuada el desempeño atlético, sin embargo una puede ser más favorable que el otro en términos de aplicación.

Hori *et al.*, (2006) compararon diferentes métodos para determinar la potencia de un grupo de levantadores de pesas, los métodos incluían la plataforma de fuerza y el transductor de posición lineal y encontraron que el uso de cualquiera

de los dos aparatos podía ser adecuado para la medición de la potencia. Por su parte Bosquet *et al.*, (2010) llevaron a cabo un estudio en el que validaron el *encoder* usándolo en el *press* de banco.

4.2.3. Masa muscular

El músculo esquelético es el tejido más abundante del cuerpo humano. Hay más de 660 músculos en el cuerpo correspondiendo aproximadamente el 40 – 45 % del total de la masa muscular (Brooks *et al.*, 2004) del cual más de la mitad (aproximadamente el 55%) se encuentra en los miembros inferiores (Janssen *et al.*, 2000). Además, como se sabe, el músculo es el generador de la tensión que hace que el cuerpo pueda vencer una resistencia (Kraemer y Vingren, 2007) por lo que es importante conocer sus aspectos funcionales y mecánicos.

Cuando el músculo es activado y genera tensión, éste puede ser acortado, mantener su longitud o mantener la elongación. Estas tres de acciones musculares, son llamadas normalmente concéntrica, isométrica y excéntrica respectivamente (figura 2)

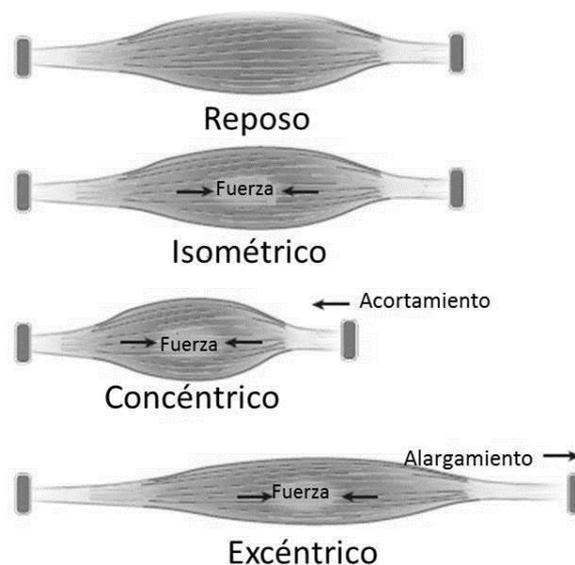


Figura 1. Acciones musculares (Kraemer *et al.*, 2012)

La evaluación de la masa muscular ha cobrado mayor interés no solo desde el punto de vista deportivo sino también desde el de la salud. Los dos principales métodos de referencia para medir la masa muscular tanto global como por segmentos corporales son la imagen de resonancia magnética (IMR) y la tomografía computarizada (TC) ya que han sido validados con estudios donde midieron los músculos de cadáveres (Mitsiopoulos *et al.*, 1998). Sin embargo, estos métodos poseen importantes desventajas como el alto costo tanto la IMR como la TC y la alta exposición a la radiación en el caso de la TC (Chen *et al.*, 2007).

La absorciometría dual de energía de rayos X (DXA) fue inicialmente desarrollada para medir el contenido mineral óseo, sin embargo, ahora es considerada una herramienta muy útil para la evaluación de la composición corporal ya sea completa o regional (Loram *et al.*, 2005). Ha ganado mucha popularidad principalmente debido a su velocidad, facilidad de uso y baja exposición a la radiación (Njeh *et al.*, 1999).

La base metodológica en la que se fundamenta la absorciometría es que esta técnica considera que el contenido mineral óseo es directamente proporcional a la cantidad de energía absorbida al ser absorbida por una energía fotónica. La fuente de ionizante está constituida por dos rayos X de doble energía, se determina la atenuación de ambos rayos al atravesar el organismo. El emisor y el receptor de rayos X se desplazan al mismo tiempo, lo que posibilita el estudio del cuerpo entero. La atenuación depende de la densidad y ésta a su vez de la composición de la región anatómicamente atravesada, de su grosor (diámetro antero-posterior) y de la energía del haz de rayos X. Los tejidos blandos principalmente compuestos por agua y componentes orgánicos, originan una atenuación mucho menor que el hueso, normalmente todos los equipos de medición aplican un patrón general para el análisis de la atenuación del rayo, en primer lugar se determina la atenuación debida al hueso y posteriormente se valora la originada en los tejidos blandos. La composición de la masa magra y grasa se calculan a partir del cociente entre la atenuación del rayo con la mínima energía y con el de mayor energía (Miján, 2002).

El concepto subyacente en la tecnología DXA es que la atenuación de los fotones está en función de la composición del tejido. El cuerpo es dividido en una serie de píxeles, cada uno de los cuales es medido por la atenuación del fotón a dos diferentes energías. La relación de la atenuación de estas dos energías es conocida como valor R. El enfoque de la composición corporal DXA supone que el cuerpo está formado por tres componentes que son distinguibles por su atenuación de los rayos X; la grasa, el hueso y el tejido blando. La proporción de solo dos componentes puede ser determinada por la absorción diferencial de dos energías de fotones. El tejido blando está conformado principalmente por agua y compuestos orgánicos y reduce el flujo de fotones en menor grado que el óseo. En áreas donde el hueso no está presente la calibración permite diferenciar las fracciones de grasa y tejido magro. La composición de estas áreas de tejido blando es extrapolada al tejido blando sobrepuesto al hueso para producir el valor de la grasa corporal total y el tejido blando magro (Plank, 2005). Comparado con la antropometría y la bioimpedancia eléctrica el DXA ha mostrado ser superior a la hora de predecir la masa muscular (Elia *et al.*, 2000)

Este método ha sido validado en diversos estudios y con diferentes poblaciones, Visser *et al.*, (1999) realizaron un estudio donde compararon la masa muscular de la pierna de personas mayores, compararon los resultados con la TC. Levin *et al.*, (2000) y Hansen *et al.*, (2007) encontraron que las mediciones del tejido blando medido por la TC y el DXA estaban altamente correlacionadas. Kim *et al.*, encontraron una buena correlación del tejido magro por segmentos medido por el DXA y el músculo esquelético medido por la IMR en un estudio que realizaron con niños (2006) y en adultos (2002). Chen *et al.*, (2007) encontraron una correlación significativa entre la masa muscular medida por IRM y el tejido magro medido por el DXA.

4.3. Las acciones excéntricas y sus características

Durante un movimiento los músculos realizan diferentes tipos de acciones musculares; las CON (acortamiento o “trabajo positivo”), ocurren cuando el músculo al contraerse se acompaña de acortamiento del ángulo de la

articulación sobre la cual actúa; las isométricas, también producen tensión aunque la contracción muscular no se acompaña de variación del ángulo articular, y por último tenemos las EXC (alargamiento o “trabajo negativo”), en éstas la contracción muscular se acompaña con un incremento del ángulo de la articulación sobre la que actúa. Una acción EXC ocurre cuando un músculo es requerido para bajar una carga de forma controlada en dirección de la fuerza de gravedad (Brown, 2000). Durante los movimientos, regularmente ocurren acciones EXC como freno u oposición a la fuerza de la acción concéntrica, para proteger a las estructuras de la articulación de un daño que éstas puedan sufrir. En una acción EXC el músculo se alarga bajo la tensión causada por una fuerza opuesta (ej. peso) la cual es más grande que la tensión generada por el músculo (Bubbico y Kravitz, 2010).

Indudablemente que en gran parte de los movimientos humanos están acopladas las contracciones EXC y CON, conociendo este fenómeno como el ciclo acortamiento-alargamiento (CAA) de las acciones musculares (Cowell *et al.*, 2012). Por ejemplo, en una sentadilla cuando de la posición parada bajamos podemos ver que el peso es mayor que la fuerza aplicada por los músculos (principalmente cuádriceps) por lo que los músculos se alargarán, por el contrario cuando subimos la fuerza de los músculos es mayor que la carga, en este caso los músculos se acortarán. Un ejemplo de la vida diaria es cuando subimos y bajamos una escalera, en la primera, para subir se llevan a cabo acciones CON debido a que los músculos del cuádriceps se están acortando y en la segunda para bajar la escalera se realizan acciones EXC para frenar el cuerpo, por lo que los músculos se alargan.

El concepto EXC dentro de la fisiología muscular fue introducido en 1953 por Asmussen y significa alejarse del centro, por lo que el músculo cuando se contrae excéntricamente se está “alejado del centro del mismo músculo”, es decir se alarga (Lindstedt *et al.*, 2001). Abbott y Bigland (1953) prefieren utilizar el término “trabajo negativo” en lugar de “trabajo EXC”. Más recientemente Padulo *et al.*, (2013) también proponen el uso del término acción para evitar confusión al utilizar el término de “trabajo negativo” o “trabajo positivo”.

En cuanto al uso del término acción EXC fue Cavanagh (1988) quien realizó un análisis de los términos “acción muscular” y “contracción muscular” considerando que el uso del primero es más adecuado. Años después Faulkner (2003) hizo una revisión del término contracción, en lo que se refiere al músculo, sugiere y considera que usarlo como adjetivo es engañoso e inapropiado por lo que sugiere que no debería ser usado para describir las contracciones músculoesqueléticas y propone utilizar el término alargamiento.

En nuestro caso para este documento utilizaremos el término acciones EXC, sin embargo, cuando se haga referencia a algún estudio específico se respetará cómo lo menciona el autor.

4.3.1. Costo energético de las acciones musculares excéntricas

Determinar el costo energético de las acciones musculares ha sido el objetivo que han seguido diversos investigadores, entre los que encontramos a Abbott *et al.*, (1952) quienes realizaron un estudio que tuvo como propósito determinar el costo del trabajo negativo, para lo cual usaron dos cicloergómetros unidos por una cadena y dos personas pedaleando (uno de espaldas al otro), uno de ellos realizaba trabajo positivo, mientras que el otro sujeto se oponía al pedaleo haciendo trabajo negativo. El primero de ellos utilizó 0,70l /min de oxígeno sobre los valores de reposo, mientras que el segundo sólo usó 0,17 l/min, el estudio se realizó a tres velocidades de pedaleo. El trabajo positivo tuvo mayor costo de oxígeno que el negativo cuando pedalearon a una velocidad de 35 rpm, la relación para las dos tareas fue de 3,7, esta relación se incrementó con la velocidad de pedaleo.

Knuttgen *et al.*, (1971) compararon el ejercicio EXC y el CON y encontraron que a una misma carga de trabajo, el sujeto que realizaba el ejercicio EXC requería menor consumo de O₂. Por su parte Bigland y Woods (1976) también realizaron un estudio en cicloergómetro (utilizaron un motor para la fase EXC) donde determinaron la tasa total de consumo de O₂, se registró la electromiografía del vasto lateral del cuádriceps, encontraron en esfuerzos submáximos los requerimientos de O₂ en el trabajo negativo era sólo un 1/6 – 1/7 de lo que se requería para el trabajo positivo a la misma intensidad. Seliger

et al., (1980) compararon el gasto energético con calorimetría indirecta durante la flexión y extensión de rodillas y encontraron que se requería menor cantidad de energía durante las contracciones excéntricas. Posteriormente LaStayo *et al.*, (1999) llevaron a cabo un estudio con jóvenes donde utilizaron cicloergómetro con motor (para controlar la carga) y con una duración de seis semanas, encontraron que el ejercicio EXC mejoraba la fuerza con menor demanda cardiaca comparada con el ejercicio CON. Otro estudio donde midieron la respuesta cardiaca y pulmonar durante la realización de ejercicios rigurosos EXC y CON en personas mayores encontraron que durante el ejercicio submáximo EXC la respuesta de la frecuencia cardiaca, la presión arterial sistólica, índice cardiaco y ventilación expirada era significativamente menor comparada con el ejercicio CON (Vallejo *et al.*, 2006). En gran medida el menor costo de O₂ de las acciones EXC puede estar relacionado con la diferencia de liberación de energía, ya que durante el alargamiento del músculo es mucho menor que durante su acortamiento (Huxley, 1974). Okamoto *et al.*, (2006) midieron el consumo de O₂ usando espectroscopia de rayos infrarrojos durante la flexión y extensión de rodilla y encontraron mayor consumo durante la contracción CON. Beltman *et al.*, (2004b) encontraron que el costo energético de las contracciones EXC era aproximadamente un 30% menor de las contracciones CON. En otras palabras la contracción EXC es más eficiente que la CON (Ryschon *et al.*, 1997).

4.3.2. La actividad muscular durante las acciones excéntricas

Otra característica de las acciones EXC que ha sido objeto de estudio es la actividad eléctrica o el grado de activación muscular lo que ha requerido que sea comparado con otro tipo de acciones. Se ha visto que las acciones EXC implican la activación de un menor número de unidades motoras para un nivel específico de tensión (Komi *et al.*, 1987), las cuales pueden llegar a ser sólo de una tercera a una sexta parte de las acciones CON (Smith, 1992). Durante una contracción EXC máxima la activación muscular se reduce, por lo que comparada con las contracciones isométricas y CON, requieren de una sola estrategia de activación del sistema nervioso, por lo que quizás esto permita maximizar la actividad, preservando la salud de las unidades motoras de alto

umbral (Enoka, 1996), al parecer esto sucede porque este tipo de movimientos son más complejos (Fang *et al.*, 2001). Además durante las acciones EXC hay un menor reclutamiento de unidades motoras lentas acompañado por una activación selectiva de unidades motoras rápidas (Nardone y Schieppati, 1988), de umbral alto, caracterizados por un tiempo de relajación de medio a corto (Nardone *et al.*, 1989).

Westing *et al.*, (1991) llevaron a cabo un estudio con catorce sujetos, en el cual realizaban contracciones EXC y CON voluntarias máximas de los flexores de rodilla, la velocidad era constante, y encontraron que el torque era mayor durante la contracción EXC, sin embargo, la actividad EMG era menor. En otro estudio realizado por Babault *et al.*, (2001) no encontraron diferencia significativa en la fuerza pico durante las contracciones voluntarias máximas, sin embargo, el nivel de activación decaía con el nivel de fuerza en la contracción EXC, mientras en la CON se mantenía constante. Por su parte Aagaard *et al.*, (2000) observaron que después de un programa de entrenamiento de fuerza de 14 semanas de duración, con una contracción voluntaria máxima, la fuerza era mayor durante la contracción EXC y menor la actividad EMG en comparación con la CON. En otro estudio se midió la activación de siete músculos en su fase EXC y CON, en cuatro de los ejercicios se encontró que la activación muscular era menor durante la fase EXC que la CON, desde un 36% (en el recto anterior femoral) hasta un 154% (en el isquiotibial lateral) (Fauth *et al.*, 2010). En un estudio realizado por Beltman *et al.*, (2004a) concluyeron que el nivel de activación muscular durante la contracción voluntaria máxima era menor durante las contracciones EXC en comparación con las CON e isométricas, mientras que en estas dos últimas no había diferencia. La imagen de resonancia magnética (IRM) también ha sido utilizada para determinar la intensidad de las señales de los músculos mientras realizan acciones EXC y CON. Shellock *et al.*, (1991) encontraron que cuando se realizaban contracciones CON había un incremento de la señal, mientras que cuando se realizaban EXC el incremento de la señal era mínimo o nulo. Además concluyeron que la IRM es una buena herramienta para dilucidar las diferencias en este tipo de acción

es musculares. Sin embargo, el cerebro requiere más tiempo para llevar a cabo las contracciones EXC lo que puede indicar que se involucra un mayor número de regiones funcionales y un mayor número de neuronas (Fang *et al.*, 2004). Duchateau y Enoka (2008) concluyen que debido a la capacidad de producir más fuerza durante las contracciones de alargamiento menor número de unidades motoras son reclutadas y la velocidad de descarga es más baja durante las acciones EXC comparadas con las CON.

4.3.3. Las acciones excéntricas, el daño y el dolor muscular

Otra de las características significativas de las acciones musculares EXC es el daño que causa a los músculos. Si bien es cierto que el ejercicio EXC no es el único tipo de entrenamiento que causa daño muscular, si es el que lo causa en mayor medida. Friden *et al.*, (1981) realizaron un estudio en el que los sujetos bajaban por las escaleras un edificio de diez pisos (acciones EXC) diez veces y para evitar las acciones CON subían por un elevador. Encontraron grandes perturbaciones a nivel estructural de las fibras musculares. Newham *et al.*, (1983) compararon el trabajo EXC y CON de jóvenes que realizaron ejercicio en un cajón (subían con un pie y bajaban con el contrario). Encontraron que los músculos que trabajaban excéntricamente mostraron algún daño inmediatamente después de haber terminado el ejercicio. Después de 24-48 horas el daño estaba más marcado e implicaba a un porcentaje mayor de fibras musculares.

Armstrong *et al.*, (1983) llevaron a cabo un estudio donde utilizaron ratas comparando tres diferentes protocolos de ejercicio en tapiz rodante, a 0° de inclinación, a 16° de descenso (principalmente trabajo EXC) y a 16° de ascenso (principalmente trabajo CON). Los resultados obtenidos indicaban que correr hacia abajo dañaba más los músculos que correr a nivel, sin embargo, no demostraban claramente la diferencia cuando la carrera era cuesta baja y cuesta arriba.

Ya desde 1900 Hough proponía que el dolor muscular que se presenta después de ocho horas y que llega a su máximo a las 24- 48 horas (dolor muscular tardío) era resultado de una ruptura de fibras dentro del músculo

mismo. Posteriormente Asmussen (1953) estableció que el dolor muscular tardío estaba directamente asociado con el componente EXC del ejercicio. Armstrong (1984) define el dolor muscular tardío (DOMS por sus siglas en inglés *Delayed Onset Muscle Soreness*) como la sensación de molestia o dolor del músculo esquelético que ocurre después de realizar trabajo muscular desacostumbrado.

Aunque a través de los años ha habido diferentes teorías acerca del mecanismo de producción del dolor muscular tardío la teoría propuesta por Hough aún continúa vigente (Sayers y Dannecker, 2004), sin embargo, para Cheung *et al.*, (2003) la combinación de las teorías del daño del tejido conectivo, la de la inflamación, la del flujo de enzimas, y la del mismo daño muscular es como se explicaría el dolor muscular tardío. Por lo tanto el hecho de que el dolor muscular tardío sea el resultado de contracciones EXC resulta plausible atribuyéndose a los factores mecánicos como los responsables por los cambios estructurales de la fibra muscular (Bobbert *et al.*, 1986).

4.4. Entrenamiento excéntrico e hipertrofia muscular

Indudablemente que uno de los principales objetivos del entrenamiento con pesos es la hipertrofia muscular, definida ésta como el incremento del tamaño de las fibras musculares individuales (Kraemer y Vingren, 2007). Según Schoenfeld (2010) existen tres factores principales que son los responsables en iniciar la respuesta hipertrófica tras los ejercicios de resistencia: tensión muscular, daño muscular y estrés metabólico. Sin embargo, el mismo autor (2012) realiza una revisión para determinar el papel del daño muscular en la hipertrofia muscular y concluye que éste no es fundamental en crecimiento muscular. Además puede producir dolor muscular, lo que pudiera evitar la habilidad para entrenar de una forma óptima (Schoenfeld y Contreras, 2013). .

Aunque no está claro el papel que juega el estrés metabólico en las adaptaciones musculares al entrenamiento de resistencia (Schoenfeld, 2013) para Folland *et al.*, (2002) tampoco es un estímulo crítico para la ganancia muscular.

Pareciera que la tensión muscular es el principal factor para el crecimiento muscular, por lo que el entrenamiento EXC la produce en mayor medida (Nosaka *et al.*, 2003) cuando se la compara con el entrenamiento CON e isométrico. Obviamente ha habido diversos estudios donde se ha tratado de dilucidar cuál de las acciones musculares es más efectiva para el desarrollo de la masa muscular. Hather *et al.*, (1991) realizaron un estudio donde compararon la influencia de las diferentes acciones musculares sobre la masa muscular y vieron que solo el grupo que usó acciones EXC tuvo un incremento en las fibras musculares tipo I, por lo tanto los autores sugieren, que las acciones EXC son críticas para la optimización de la hipertrofia de las fibras musculares durante el entrenamiento con resistencia. Dudley *et al.*, (1991) concluyen que las acciones EXC son importantes debido probablemente a que optimizan la intensidad del entrenamiento. Por su parte Spurway *et al.*, (2000) concluyeron que el entrenamiento de fuerza en cualquier deporte mejora substancialmente el desempeño EXC más que el CON. Walker *et al.*, (1998) llevaron a cabo una investigación donde compararon los efectos del entrenamiento CON y el CON más EXC sobre la masa muscular. Encontraron un incremento significativo (7,1%) del gastronemio de los sujetos que entrenaron usando las acciones CON más EXC.

En otro estudio se compararon los efectos del entrenamiento isocinético, EXC y CON, encontrando a los sujetos que entrenaron excéntricamente incrementaron la masa muscular del cuádriceps un 6,6% mientras que los que entrenaron concéntricamente incrementaron un 5% (Higbie *et al.*, 1996). Por su parte Seger *et al.*, (1998) llevaron a cabo un estudio en el que buscaban determinar las posibles adaptaciones morfológicas al entrenamiento EXC. Los sujetos participantes en el estudio fueron asignados en el grupo que entrenó concéntricamente o en el que entrenó excéntricamente, en la primera parte de la investigación los sujetos fueron sometidos a un entrenamiento isocinético con la pierna izquierda de diez semanas de duración, la segunda parte fue similar solo que entrenaron con la pierna derecha. Dentro de los resultados obtenidos encontraron que hubo incremento de la sección transversal del músculo (3-4%) de la pierna para ambos grupos, sin embargo, solo para el que entrenó excéntricamente hubo diferencia significativa.

LaStayo *et al.*, (2000) llevaron a cabo un estudio con sujetos jóvenes que entrenaron durante ocho semanas en un cicloergómetro EXC y uno convencional, encontraron que los sujetos que entrenaron excéntricamente incrementaron significativamente el área transversal de la fibra (un 52%) del pre al post-entrenamiento, mientras que los que entrenaron concéntricamente no mostraron cambios significativos. En sujetos previamente entrenados se vio que el entrenamiento EXC producía ganancias significativas en la sección transversal del flexor del codo, mientras los entrenados concéntricamente no registraron cambios significativos (Vikne *et al.*, 2006).

Hortobàgyi *et al.*, (2000) realizaron un estudio donde compararon el efecto de tres diferentes tipos de entrenamiento (CON y EXC y la combinación de ambos) sobre la fuerza muscular, tamaño de la fibra muscular y el reentrenamiento. Dentro de los resultados obtenidos encontraron que los sujetos que entrenaron excéntricamente tuvieron una hipertrofia mayor en las fibras I, IIa y IIx, en comparación con los que entrenaron concéntricamente y combinado.

También se ha estudiado la influencia de la velocidad de ejecución del ejercicio, pues al parecer también puede ser un factor importante para promover la hipertrofia, como lo indican Farthing y Chilibeck (2003) cuando compararon el ejercicio EXC y CON a dos velocidades (lenta y rápida), encontraron que el entrenamiento rápido tuvo mayores cambios en el grosor del músculo (13%) mientras que el CON lento (5,3%), y el CON rápido y EXC lento (2,6%), por lo que concluyeron que el entrenamiento EXC a velocidades altas es más efectivo para promover la hipertrofia, al menos en los músculos flexores del codo. En otro estudio se observó un decremento en el porcentaje de las fibras tipo I e incremento de las tipo IIa en personas que entrenaron a velocidad rápida en comparación con las que entrenaron a velocidad lenta (Paddon-Jones *et al.*, 2001). Shepstone *et al.*, (2005) realizaron un estudio, de ocho semanas de duración, en el cual compararon dos velocidades de entrenamiento EXC y sus efectos sobre la masa muscular de los flexores del brazo, encontraron que el entrenamiento isocinético de alta velocidad incrementaba el tamaño de las fibras tipo II más que el entrenamiento a velocidad lenta. También se ha visto en adultos mayores con entrenamiento

EXC de catorce semanas de duración que se incrementaba la longitud del fascículo de los músculos un 20%, a diferencia de un 8% de aquellos que entrenaron convencionalmente (Reeves *et al.*, 2009), lo que indicaría una adición de sarcómeros en serie.

Por último, Roig *et al.*, (2009) realizaron una revisión sistemática con meta-análisis en la que plantearon entre otros objetivos, determinar si el entrenamiento EXC era superior al CON en la estimulación de la ganancia de la masa muscular. Terminaron por sugerir que el ejercicio EXC es más efectivo que el CON en el desarrollo de la masa muscular. Al parecer el aumento de la masa muscular se debe principalmente a que después del entrenamiento EXC se ha visto un rápido incremento en la síntesis de proteína miofibrilar, cosa que no ocurre con el entrenamiento CON (Moore *et al.*, 2005).

Sin embargo, no todos los investigadores han obtenido resultados favorables del entrenamiento EXC frente al CON, entre ellos tenemos a Jones y Rutherford (1987) quienes compararon el efecto del entrenamiento isométrico, el CON y el EXC sobre la masa muscular, en las dos últimas formas de entrenamiento hubo un incremento significativo de la masa muscular, aunque dichos incrementos no fueron diferentes significativamente cuando se compararon entre ellos. Otro estudio de veinte semanas de duración en el cual compararon el efecto del entrenamiento EXC y CON sobre la masa muscular, encontraron resultados similares en el incremento de la sección transversal de en la parte superior del cuádriceps con los dos tipos de entrenamiento (Smith y Rutherford, 1995).

Una investigación donde compararon cuatro diferentes formas de entrenamiento (EXC, CON, convencional y supramáximo EXC) y su efecto sobre la masa muscular, reportaron que no hubo diferencia significativa en el incremento de la circunferencia del muslo entre los cuatro grupos, sin embargo, los grupos convencional y supramáximo si tuvieron diferencia significativa con el grupo control (Ben-Sira *et al.*, 1995).

Mourax *et al.*, (2000) estudiaron el efecto del entrenamiento excéntrico submáximo sobre la masa muscular y no encontraron diferencia significativa en el área transversal entre el muslo de la pierna entrenada y el de la no

entrenada después de seis semanas de entrenamiento. Nickols-Richardson *et al.*, (2007) llevaron a cabo un estudio con veinte semanas de duración donde midieron el efecto del entrenamiento EXC y CON sobre la masa libre de grasa, entre otras variables, encontraron que con los dos tipos de entrenamiento se incrementaba significativamente, pero no se encontraron diferencias cuando los compararon entre sí. Resultados similares obtuvieron Blazevich *et al.*, (2007a) en el tamaño de la masa muscular, los dos tipos de entrenamiento la incrementaron significativamente, pero no hubo diferencia entre los dos tipos de entrenamiento.

Por su parte Moore *et al.*, (2012) compararon el entrenamiento EXC máximo y el CON con carga externa total equivalente y su efecto sobre la masa muscular, en sus resultados reportan mejoras significativas con los dos tipos de entrenamiento pero no encontraron diferencias significativas en la comparación entre ambos tipos de entrenamiento. Previamente Mayhew *et al.*, (1995) habían comparado el efecto del entrenamiento con contracciones EXC y CON, con niveles similares de potencia, sobre la hipertrofia de las fibras musculares del cuádriceps de sujetos jóvenes. Encontraron una diferencia significativa en el incremento de las fibras tipo II del grupo que entrenó concéntricamente en comparación con el grupo que lo hizo excéntricamente

En un estudio llevado a cabo con ratas donde el objetivo fue evaluar la efectividad relativa del entrenamiento EXC, CON e isométrico y sus efectos sobre la hipertrofia compensatoria. Las ratas fueron sometidas a un entrenamiento con estimulación eléctrica en diez sesiones en un lapso de veinte días, los tres tipos de entrenamiento produjeron hipertrofia del músculo entrenado (14, 12 y 11% para el isométrico, CON y EXC respectivamente), pero sin diferencia significativa (Adams *et al.*, 2004). Cuando se compara el efecto del entrenamiento EXC de baja y alta intensidad sobre el desarrollo de la masa muscular se obtienen resultados similares con los dos tipos de entrenamiento (Schroeder *et al.*, 2004).

4.5. Entrenamiento excéntrico y fuerza muscular

Tras años en los que el acondicionamiento físico estaba muy centrado en el componente metabólico aeróbico, se ha ido orientando el foco de interés a la cualidad física de la fuerza muscular, tanto para los deportistas como para personas que buscan mantener o mejorar la salud más que el rendimiento deportivo. Por lo que se refiere a los deportistas, estos están sometidos a entrenamientos de fuerza para mejorar su desempeño. En cuanto a las personas no deportistas que realizan actividad física centrados en la salud, es común que realicen actividades de fuerza para mejorar su calidad de vida (Jiménez-Gutiérrez, 2003).

En los últimos años el entrenamiento EXC ha sido una alternativa muy usada para el desarrollo de la fuerza muscular. La magnitud de las ganancias de fuerza muscular con el entrenamiento EXC, también ha sido comparada con la del entrenamiento CON (Dean, 1988). En el estudio de Ben Sira *et al.*, (1995) donde compararon cuatro tipos de entrenamiento y su efecto sobre la fuerza muscular reportaron un incremento mínimo de la misma con el entrenamiento EXC, aunque el incremento no fue significativo los autores refieren que esto puede deberse en gran medida al tamaño de los grupos participantes (cuatro sujetos por grupo). Sin embargo, mencionan que los incrementos son acorde con otros reportados previamente.

Kaminski *et al.*, (1998) compararon las ganancias de fuerza de los isquiotibiales de hombres saludables con entrenamiento CON y EXC (utilizaron una máquina que incrementaba la carga en la fase EXC) hallaron que el grupo que entrenó excéntricamente mejoró 28,8% su fuerza con relación a su peso corporal, mientras que el grupo que entrenó concéntricamente mejoró solo un 9,0%. Por su parte Higbie *et al.*, (1996) encontraron un incremento de fuerza del 36% en un grupo que entrenó excéntricamente, mientras que los que entrenaron concéntricamente aumentaron la fuerza únicamente un 12%. En cuanto al grupo control éste disminuyó su fuerza un 1,7%.

En otro estudio donde compararon el efecto del entrenamiento agudo EXC con sobrecarga, se encontró que después de siete días de entrenamiento, el grupo

de mujeres entrenadas con sobre carga EXC incrementaba su fuerza un 27%, mientras el grupo que entrenó de manera estándar solo lo hizo un 11% (Hortobágyi *et al.*, 2001). Godard *et al.*, (1998) encontraron mejoras significativas de la fuerza muscular de dos grupos de sujetos, uno que entrenó con carga EXC estándar y el otro con carga EXC acentuada, en comparación con el grupo control, sin embargo, no encontraron diferencia significativa cuando compararon los dos tipos de entrenamiento.

LaStayo *et al.*, (2003) llevaron a cabo un estudio donde compararon el efecto del entrenamiento tradicional (pesos libres) con el entrenamiento EXC (cicloergómetro EXC) sobre la fuerza muscular en adultos mayores después de un programa de entrenamiento de once semanas. En los resultados obtenidos vieron que el grupo que entrenó excéntricamente mejoró un 60%, mientras el grupo que entrenó tradicionalmente solo incrementó un 15% la fuerza de los miembros inferiores. Vikne *et al.*, (2006) compararon los efectos del ejercicio EXC y CON sobre la fuerza muscular en hombres entrenados. Encontraron un mayor incremento de la fuerza de los sujetos que entrenaron excéntricamente (26%) en comparación con los que entrenaron concéntricamente (9%).

En uno de los estudios previamente mencionado donde compararon el entrenamiento EXC y CON a diferentes velocidades (Farthing y Chilibeck, 2003) reportan que el entrenamiento EXC produjo mayor incremento de la fuerza muscular que el entrenamiento CON. Además, se registraron mayores beneficios con el entrenamiento EXC a una velocidad rápida ($180^{\circ}/s^{-1}$) que a velocidad lenta ($30^{\circ}/s^{-1}$). Drury *et al.*, (2006) determinaron la influencia de la velocidad de contracción tanto EXC como CON en la producción de torque del bíceps braquial. Se comparó el torque pico durante la contracción EXC y concéntrica a tres velocidades (90° , 180° y $300^{\circ}/s^{-1}$) se encontraron diferencias significativas a favor de la contracción EXC, cuando se comparó la fuerza producida a las tres velocidades de contracción EXC no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, dos Santos Rocha *et al.*, (2011) evaluaron la especificidad de las adaptaciones funcionales del entrenamiento EXC a diferentes velocidades y obtuvieron que el torque pico era mayor a velocidades lentas (60° y $120^{\circ}/s^{-1}$) en comparación con las rápidas (180 , 240° y $300^{\circ}/s^{-1}$).

En su meta-análisis Roig *et al.*, (2009) encontraron que las ganancias de fuerza después del entrenamiento EXC eran mayores que con el entrenamiento CON a igual velocidad de ejecución eran las mismas. Cuando se compararon los efectos en las velocidades en el entrenamiento EXC, las ganancias eran mayores a velocidades altas.

Mueller *et al.*, (2009) realizaron un estudio con adultos mayores en el cual compararon el efecto de entrenamiento cognitivo, el convencional y el excéntrico sobre la fuerza muscular isométrica de las piernas, notaron una mejora significativa del grupo que entrenó excéntricamente, mientras que los cambios en los dos grupos restantes no hubo cambio significativo.

Al igual que existe alguna controversia de los investigadores en cuanto a los resultados del efecto del ejercicio EXC y CON sobre la masa muscular, también hay estudios que no han encontrado diferencia entre ellos o bien han encontrado mayores incrementos de la fuerza muscular con el entrenamiento CON cuando lo comparan con el entrenamiento EXC.

Johnson (1972) comparó los efectos de dos tipos de entrenamiento de fuerza, uno isotónico-EXC y el otro isotónico-CON. Ambos tipos de entrenamiento produjeron ganancias significativas de fuerza en piernas y brazos cuando compararon el pre y post-test, sin embargo, ninguno de los dos tipos de entrenamiento fue superior al otro. Posteriormente este mismo investigador *et al.*, (1976) compararon el entrenamiento EXC y CON, los ejercicios se realizaron con un 80 % y 120 % de la fuerza máxima respectivamente. No encontraron diferencia significativa en la ganancia de fuerza cuando compararon los dos tipos de entrenamiento. Gillies *et al.*, (2006) no encontraron diferencia significativa en la fuerza muscular después de nueve semanas de entrenamiento EXC y CON en mujeres jóvenes.

Jones y Rutherford (1987) compararon el efecto de tres tipos de entrenamiento (isométrico, CON y EXC) sobre la fuerza muscular de sujetos adultos saludables, aunque encontraron mejoras en la fuerza en los tres regímenes de entrenamiento, estas no fueron significativas. Mientras tanto Smith y Rutherford (1995) reportaron un incremento (19,6%) de la fuerza isométrica de un grupo

de sujetos que entrenó concéntricamente y de solo un 9,8% para el grupo que entrenó excéntricamente.

Barstow *et al.*, (2003) llevaron a cabo una investigación donde compararon el efecto del entrenamiento tradicional (CON - EXC) con el entrenamiento EXC incrementado (utilizaron la misma máquina que Kaminski *et al.*,) sobre la fuerza muscular de los flexores del codo. Aunque la carga aumentó aproximadamente un 27% no encontraron diferencias significativas en el incremento de la fuerza muscular. Por otra parte tenemos a Raue *et al.*, (2005) que reportaron un mayor incremento (19% vs 7%) de la fuerza de los extensores de rodilla de un grupo de adultos sedentarios que entrenaron concéntricamente en comparación con los que lo hicieron excéntricamente. De Carvalho Nogueira *et al.*, (2011) compararon los efectos de las acciones musculares CON y EXC sobre la ganancia de fuerza muscular de hombres no entrenados, mientras que el grupo que entrenó concéntricamente lo hizo con un 80% de la 1-RM los que lo hicieron excéntricamente lo hicieron con el 120% de la 1-RM. Los estudios revelaron mejoras significativas en el grupo que entrenó concéntricamente en comparación con el que lo hizo excéntricamente.

4.6. Entrenamiento excéntrico y potencia muscular

La potencia muscular definida en términos de entrenamiento deportivo, como el ritmo de trabajo o bien como la fuerza multiplicada por la velocidad de ejecución (Kawamori y Haff, 2004).

Existen pocos estudios donde se analice el efecto del entrenamiento EXC sobre la potencia muscular, sin embargo, al ser la fuerza uno de sus componentes se esperaría que al incrementarla, también la potencia aumente (Aagaard, 2010).

En un estudio donde compararon dos grupos de sujetos durante el entrenamiento de la fuerza del cuádriceps en la máquina de extensión de pierna con carga normal y con sobrecarga en la fase EXC del ejercicio, encontraron que el grupo que entrenó con sobrecarga EXC incremento significativamente la altura del salto vertical (Friedmann-Bette *et al.*, 2010).

Elmer *et al.*, (2012) usaron un cicloergómetro para comparar el entrenamiento ECC y CON y sus efectos sobre la potencia muscular sobre el salto vertical, y encontraron que con el primer tipo de entrenamiento la potencia se incrementaba un $7 \pm 2\%$ mientras que para el entrenamiento CON hubo un decremento del $2 \pm 3\%$.

Fernández- Gonzalo *et al.*, (2011) llevaron a cabo un estudio donde analizaron el efecto de un programa de entrenamiento EXC de cuatro semanas de duración sobre la potencia muscular pico. Se les midió la potencia inmediatamente después de la primera y segunda sesión así como a las 24, 48 y 164 horas. El grupo que entrenó tuvo una mejor recuperación de la potencia pico en comparación con el grupo que no entrenó.

Lo que es un hecho y está bien documentado es la importancia que tiene la fase EXC para tener una mejor generación de potencia, como ha quedado de manifiesto con los saltos que involucran esta fase. Bobbert y Casius (2005) llevaron a cabo un modelo para tratar de explicar la diferencia en el desempeño cuando se utiliza el salto contramovimiento y el salto con sentadilla. Concluyeron que la diferencia se puede deber al estado activo durante el salto. Por lo que el desarrollo de una estrategia para utilizar mejor la fase EXC resulta en un mejor desempeño CON (Cormie *et al.*, 2010) como cuando se realiza un salto.

McBride *et al.*, (2008) realizaron un estudio que tuvo como objetivo determinar si el aumento de la preactividad y fase EXC mejora el desempeño CON, para lo cual compararon tres tipos de salto (con caída, contramovimiento y el estático). Entre los resultados obtenidos está que la potencia pico concéntrica era menor en el salto estático, mientras que en los otros dos tipos de salto no hubo diferencia significativa.

Anderson *et al.*, (2008) compararon dos tipos de entrenamiento de fuerza, el primero fue con pesos libres y el segundo combinado (pesos libres y elásticos) y sus efectos sobre la potencia. Encontraron que con el entrenamiento combinado mejoraba significativamente la potencia media ($68,55 \pm 84,35$ vs $23,66 \pm 40,56$ W). Sugirieron que los elásticos trabajan la porción EXC del

movimiento, por lo que plantea diferentes desafíos al sistema neuromuscular en cada repetición.

En otro estudio donde utilizaron bandas elásticas para sobrecargar la fase EXC del salto contramovimiento (20 y 30% del peso corporal) encontraron que la fuerza elástica adicional incrementaba la altura del salto y la potencia muscular cuando compararon la fuerza adicional al 30% y sin carga (Aboodarda et al., 2013).

Por su parte Hoffman *et al.*, (Hoffman et al., 2005) compararon los efectos de un programa de entrenamiento que incluía el salto con sentadilla excéntricamente cargada y descargada. Entre los resultados obtenidos hubo un incremento en la fuerza muscular en sentadilla así como en el *clen* de poder con sentadilla cargada.

4.7. Entrenamiento unilateral y entrenamiento cruzado

El entrenamiento unilateral incluye principalmente ejercicios con un único miembro a la vez (Ehlers Botton y Silveira Pinto, 2012). Este tipo de entrenamiento cobra más importancia día a día, y es más común ver personas que asisten a gimnasios realizando ejercicios donde se trabajan los miembros por separado. En el ámbito de la rehabilitación también se utiliza para mejorar el miembro contralateral aprovechando del efecto cruzado el entrenamiento unilateral (Lee *et al.*, 2009).

El entrenamiento cruzado se refiere al efecto contralateral de la actividad motriz crónica, también llamado ejercicio cruzado, efecto cruzado o transferencia cruzada (Zhou, 2003), fenómeno en que el miembro no entrenado incrementa su fuerza. Ya desde 1894 Scripture *et al.*, Reportaban un experimento en el que un sujeto realizaba actividad durante nueve días con la mano derecha incrementado su fuerza tanto en la mano que realizaba actividad como la que no lo hacía, a lo que llamaron “práctica indirecta”. Kannus *et al.*, (1992) llevaron a cabo un estudio con diez sujetos que entrenaron durante ocho semanas con una pierna para conocer su efecto sobre la fuerza de la pierna contralateral, reportan que hubo un incremento de la fuerza de un 19% del

miembro entrenado y un 11% del miembro no entrenado. Adamson *et al.*, (2008) realizaron un estudio que incluyó a diez mujeres jóvenes sometidas a entrenamiento unilateral del brazo izquierdo durante ocho semanas encontraron que tanto el brazo entrenado como el no entrenado incrementaron la fuerza. Munn *et al.*, (2005) reportan un incremento promedio 7% de la fuerza muscular de la pierna contralateral en el estudio donde compararon diversos tipos de entrenamiento unilateral. Para el mismo Munn *et al.*, (2004) uno de los principales problemas en los estudios relacionados con los efectos contralaterales del entrenamiento unilateral es la familiarización de los sujetos con la evaluación por lo que llevó a cabo un meta-análisis donde incluyó estudios (13) que tuvieran un grupo de entrenados y otro de no entrenados (control) y que los sujetos fueran asignados aleatoriamente a un grupo u otro. Encontraron que el entrenamiento unilateral incrementaba la fuerza contralateral en un 7,8% de la fuerza inicial en individuos saludables, lo que corresponde a un 35% del efecto en el miembro entrenado.

Mientras la evidencia que apoya la existencia del efecto cruzado es abundante, poco se conoce acerca de los mecanismos subyacentes responsables de la transferencia cruzada (Hendy *et al.*, 2012). Lee y Carroll (2007) presentan dos hipótesis de los posibles mecanismos subyacentes, la primera de ellas es que el entrenamiento con resistencias causa cambios específicos de la tarea en la organización de las vías motoras proyectando al músculo contralateral homólogo, más específicamente, activando vías motoras en el miembro contralateral no entrenado, lo que pudiera llevar a una conducción neural más eficiente hacia los músculos no entrenados, lo que puede resultar en un incremento de la fuerza. La segunda hipótesis se refiere a que un entrenamiento con resistencia conduce a adaptaciones en las áreas motoras que son predominantemente responsables para el control y ejecución de movimientos del miembro entrenado. El hemisferio opuesto puede acceder a estos circuitos modificados durante las contracciones voluntarias del miembro opuesto no entrenado para la generación de fuerza.

Aunque los estudios de efecto cruzado regularmente implican al músculo contralateral homólogo Sariyildiz *et al.*, (2011) llevaron a cabo un estudio para ver si el entrenamiento con estimulación eléctrica durante seis semanas del

músculo flexor de la muñeca incrementaba la fuerza del músculo extensor de la muñeca contraria, y encontraron que los músculos extensores de la muñeca no entrenada incrementaron su fuerza un 46,5%. Como se puede observar el incremento de la fuerza fue muy alto en comparación con el 7,8% que reporta Munn *et al.*, (2004). Sin embargo, habría que tomar en cuenta factores que en este estudio fueron considerados, como que se entrenó el miembro dominante, las acciones fueron excéntricas y el entrenamiento fue con electroestimulación. Con respecto al primero de los factores anteriormente mencionados Farthing (2009) reporta que la transferencia de habilidades en el entrenamiento unilateral es asimétrica, esto es que la transferencia es mayor en una dirección, del miembro dominante al no dominante. En cuanto al segundo factor Hortobágyi *et al.*, (1997) llevaron a cabo un estudio donde compararon el efecto cruzado del entrenamiento con acciones CON, EXC e ISO, encontraron que el efecto cruzado con entrenamiento de acciones EXC (39%) era mayor que con las CON (30%) e ISO (22%). En lo que se refiere a la electroestimulación se ha visto que un entrenamiento de seis semanas de duración mejora en mayor medida la fuerza del miembro contralateral en comparación con un entrenamiento de contracciones voluntarias (Hortobágyi *et al.*, 1999).

4.8. Asimetría bilateral

La asimetría bilateral, definida como la diferencia entre el lado derecho e izquierdo o bien entre el miembro dominante y el no dominante del cuerpo (Krzykala, 2010), ha formado parte de estudios tanto en temas de rehabilitación como deportivo. Las investigaciones de la asimetría bilateral han estado relacionadas con la masa muscular, la densidad o dimensión de los huesos ((Dorado *et al.*, 2002), equilibrio (Pizzigalli *et al.*, 2011), fuerza (McCurdy and Langford, 2005) o masa muscular (Dorado *et al.*, 2002). La asimetría hasta donde se sabe está más pronunciada en los miembros superiores que en los inferiores (Krzykala, 2012).

En cuanto a la asimetría de la masa muscular Masuda *et al.*, (2003) realizaron un estudio con futbolistas universitarios y aunque encontraron diferencias en la sección transversal de los músculos de las piernas, tales diferencias no fueron

significativas. Demura *et al.*, (2001) reportan que la diferencia de la circunferencia entre el muslo derecho e izquierdo de un grupo de jóvenes universitarios era menor al 1%. Chhibber y Singh (1970) llevaron a cabo un estudio con cadáveres y encontraron que en los miembros inferiores el peso del cuádriceps dominante era un 3% mayor en comparación con el no dominantes.

McCurdy y Langford (2005) llevaron a cabo un estudio donde evaluaron la fuerza máxima de las piernas (usaron la sentadilla unilateral modificada) de un grupo de jóvenes y encontraron que la diferencia de fuerza entre ambas piernas era menor al 1%. Mientras que Wiest *et al.*, (2010) reportan en su estudio que la pierna dominante era un 4 % más fuerte que la no dominante. Lanshammar y Ribom (2011) realizaron un estudio con mujeres de 20 a 39 años donde evaluaron la fuerza isocinética y encontraron que el cuádriceps de la pierna dominante era un 5.3% más fuerte que la no dominante. Por su parte theoharopoulos *et al.*, (2000) en un estudio con jugadores de baloncesto profesional encontraron que la fuerza de los extensores de la rodilla era mayor a velocidades altas cuando comparaba la pierna dominante con la no dominante. Sjostrom *et al.*, (1991) encontraron que la diferencia del área muscular de la pierna izquierda era un 7% mayor que la derecha.

Almeida *et al.*, (2012) llevaron a cabo un estudio con jóvenes en una máquina isocinética entre sus resultados se encontró que la potencia máxima de la pierna dominante era un 12% mayor que la no dominante. Edwards *et al.*, (2012) evaluaron jugadores de baloncesto, de futbol y atletas con el salto contramivimiento encontrando simetría en las diferentes variables cinéticas y cinemáticas medidas. Mientras que Schot *et al.*, (1994) reportan que durante el salto había asimetría en los momentos de las articulaciones así como la fuerza de reacción vertical de las piernas. Samadi *et al.*, (2009) no encontraron diferencia significativa entre la pierna dominante y la no dominante en el salto con una pierna en tres grupos diferentes de personas.

4.9. El entrenamiento excéntrico en la salud y el deporte

Independientemente que sea una persona común o un deportista cada día es más frecuente ver que a las personas se les recomienda hacer ejercicio tanto para prevenir alguna lesión como para recuperarse de alguna que haya sufrido anteriormente. También cada día es más frecuente que los ejercicios recomendados sean de tipo EXC, los cuales han probado ser efectivos como lo muestran algunos estudios.

Aunque a decir de algunos investigadores el uso de este tipo de acciones en personas con condiciones comprometidas de salud crónica es muy limitada, tras realizar una revisión sistemática para evaluar y analizar la efectividad del entrenamiento EXC para restaurar la función músculo-esquelética en pacientes con enfermedades crónicas (Roig *et al.*, 2010).

No obstante podemos encontrar estudios que apoyan el uso del entrenamiento EXC en personas con problemas de salud como Alfredson *et al.*, (1998) que realizaron un estudio con 15 sujetos que tenían diagnóstico de tendinitis aquilea. El estudio tuvo una duración de 12 semanas y los sujetos fueron sometidos a ejercicios EXC. Los autores reportan que después del entrenamiento, el grupo experimental tuvo en la pantorrilla lesionada una disminución del dolor y un incremento de la fuerza, por lo que ésta se equilibró con la pantorrilla no lesionada.

Por su parte Gur *et al.*, (2002) compararon el efecto del entrenamiento CON frente al entrenamiento CON/EXC acoplado sobre la capacidad funcional y los síntomas en pacientes con osteoartritis en rodilla. El entrenamiento se llevó a cabo durante ocho semanas con tres sesiones de entrenamiento por semana, el entrenamiento consistió en doce repeticiones CON para el grupo que entrenó únicamente concéntricamente, mientras que para el grupo que entrenó EXC/CON fue de seis repeticiones CON y seis EXC. Dentro de los resultados obtenidos se encontró que ambos grupos disminuyeron el daño, mejoraron la fuerza muscular e incrementaron el área transversal del músculo, sin embargo, reportan que el grupo que entrenó concéntrica/excéntricamente tuvo una mejoría ligeramente mayor en la capacidad funcional. Mejora en la función y el

volumen del cuádriceps y glúteo mayor con rehabilitación EXC encontraron Gerber *et al.*, (2007) en un estudio que llevaron a cabo con pacientes operados para la reconstrucción del ligamento cruzado anterior y fueron sometidos a rehabilitación estándar o rehabilitación con ejercicios EXC después de un año.

La condromalacia patelar fue otra afectación en la que un grupo de investigadores estudiaron los efectos del entrenamiento EXC y el CON. Encontraron que un grupo de pacientes que había entrenado con ejercicios EXC disminuía significativamente el dolor, mejoraba el índice de la osteoartritis y el rango de movimiento de la rodilla en comparación con los que habían entrenado concéntricamente. Por lo que consideran que los ejercicios EXC son más efectivos que los CON para el tratamiento de este padecimiento (Hafez *et al.*, 2012).

En otro estudio se investigaron los efectos locales (recambio del tejido conectivo peritendinoso) del entrenamiento EXC, en futbolistas que sufrían tendinitis aquilea crónica. El programa de entrenamiento tuvo una duración de doce semanas. Después de la aplicación del programa se vio que la síntesis de colágeno en el tendón dañado se incrementó significativamente, en el tendón no dañado no hubo cambios. La degradación del colágeno no fue afectada ni en el tendón dañado ni en el no dañado. Después del entrenamiento EXC todos los sujetos volvieron a jugar (Langberg *et al.*, 2007).

Hibbert *et al.*, (2008) llevaron a cabo una revisión bibliográfica con el fin de determinar la efectividad del ejercicio EXC en la prevención de la distensión de los isquiotibiales. Después de haber hecho una revisión de diferentes bases de datos eligieron siete artículos que cumplían con sus criterios de selección y concluyeron que sus hallazgos sugieren que el entrenamiento EXC es efectivo en la prevención primaria y secundaria de la lesiones de los isquiotibiales.

Lorenz y Reiman (2011) llevaron a cabo un estudio que tuvo como objetivo revisar la literatura relativa al uso del entrenamiento EXC durante la rehabilitación, los autores concluyeron que dada la evidencia del papel positivo que el uso de los ejercicios EXC en el entrenamiento deportivo y en la prevención de lesiones, dichos ejercicios son un componente esencial de un plan de rehabilitación exitoso.

Por su parte Paschalis *et al.*, (2011) realizaron un estudio donde determinaron los efectos del ejercicio EXC y el CON sobre la función y el desempeño muscular, los triglicéridos colesterol total y la resistencia a la insulina. Concluyeron que con treinta minutos de ejercicio EXC por semana, durante ocho semanas era suficiente para mejorar los factores de riesgo para la salud.

Mjolsnes *et al.*, (2004) compararon dos tipos de ejercicio en jugadores de fútbol, el *curl* de pierna y el de isquiotibiales nórdico; el primero de ellos haciendo énfasis en el trabajo CON y el segundo en el EXC. La duración del entrenamiento fue de diez semanas y lo que hallaron en este estudio fue que el programa de ejercicio EXC es más efectivo que el CON. Por lo que un programa de entrenamiento debe contener ejercicios EXC en la pretemporada para proteger contra lesiones de isquiotibiales (Gabbe *et al.*, 2006)

Hedayatpour y Falla (2012) hacen una revisión de las adaptaciones musculares al ejercicio EXC y concluyeron que tales adaptaciones no son uniformes, por lo que puede ser benéfico para el tratamiento de la tendinopatía, sin embargo, puede producir desequilibrio de fuerza y por lo tanto puede potencialmente alterar la distribución de la carga, incrementando el riesgo de lesión.

4.10. El entrenamiento excéntrico y la tecnología inercial

Indudablemente que una de las principales limitaciones del entrenamiento EXC es la carga con la que se trabaja ya que el músculo durante el alargamiento y bajo tensión es capaz de producir más tensión que durante el acortamiento (Katz, 1939), por lo que puede soportar cargas entre un 40 a 50% superiores en comparación con la fase concéntrica (Hortobágyi *et al.*, 2001) por que se ha sugerido que incrementando la carga durante la fase EXC durante las actividades que comprendan ambas acciones puede producir adaptaciones favorables al entrenamiento y una subsecuente mejora en el desempeño agudo o crónico (Moore y Schilling, 2005).

Los investigadores han realizado estudios relacionados con el trabajo EXC usando diversos modelos con instrumentos tan sencillos como un cajón, en que los sujetos suben con una pierna (CON) y bajan con la otra (EXC) (Hamlin y

Quigley, 2001, Newham *et al.*, 1983) o bien bajar una escalera (Fridén *et al.*, 1981), sin embargo, otros han hecho sus estudios usando aparatos convencionales para el entrenamiento de la fuerza muscular como los pesos libres donde aíslan la fase EXC (Fernandez-Gonzalo *et al.*, 2011, Garcia-Lopez *et al.*, 2007), bien la sobrecargan (Brandenburg y Docherty, 2002) o ambas (De Carvalho Nogueira *et al.*, 2011).

Otros investigadores han desarrollado instrumentos para cargar el músculo durante la fase EXC, entre ellos podemos mencionar en un principio a Abbott *et al.*, (1952) quienes utilizaron dos cicloergómetros (figura 2) y pusieron a pedalear a dos sujetos, uno de espaldas al otro, mientras uno realizaba el trabajo CON el que se oponía realizaba el trabajo EXC. El cicloergómetro ha sido utilizado en trabajos posteriores, solo que se le ha adaptado un motor para producir la sobrecarga EXC (Bigland-Ritchie y Woods, 1976, LaStayo *et al.*, 2000, Elmer *et al.*, 2013).

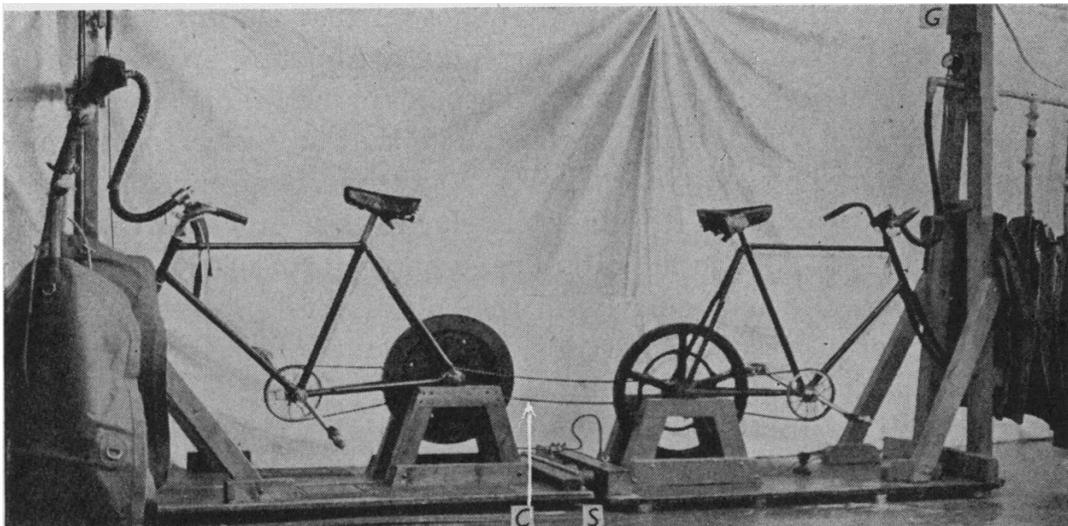


Figura 2. Cicloergómetros para trabajar positiva y negativamente (Abbott *et al.*, 1952)

Petersen (1969b, 1969a) por su parte, modificó el cicloergómetro de *Krogh* (figura 3) para realizar investigaciones sobre los efectos del ejercicio EXC con piernas y brazos.



Figura 3. Cicloergómetro de *Krogh* modificado (Petersen, 1969b)

Por su parte Elmer *et al.*, (2013) desarrollaron un cicloergómetro de brazos tanto para pacientes con problemas musculares como para atletas (figura 4).

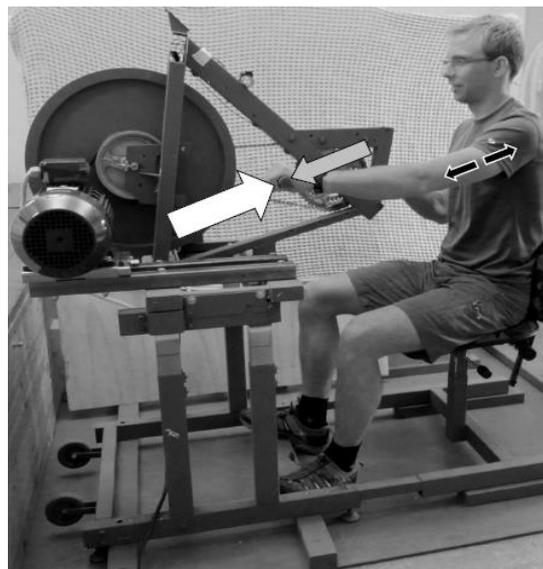


Figura 4. Cicloergómetro para brazos (Elmer *et al.*, 2013)

Lichtneckert *et al.*, (1969) presentaron un ergómetro reversible que trabajaba tanto positiva (CON) como negativamente (EXC), tanto para brazos como para piernas.

El ergómetro llamado *Eccentron ergometer* (figura 5) es otro de los aparatos diseñados para generar resistencia durante la fase EXC, dicho aparato cuenta con un motor de tres caballos de potencia que mueve los pedales en dirección a la persona (sentada) la cual intenta resistir este movimiento empujando los pedales, lo que resulta en un alargamiento bajo tensión de los músculos del cuádriceps (Flann *et al.*, 2011).

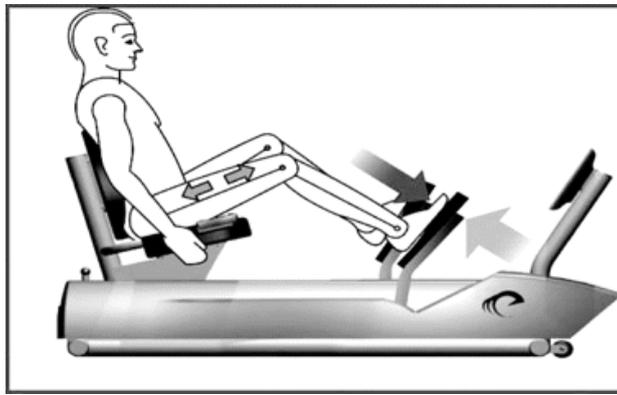


Figura 5. *Eccentron ergometer* (Flann *et al.*, 2011)

Doan *et al.*, (2002) usaron un aparato (figura 6) diseñado para liberar la barra en la parte baja del ejercicio para de esta forma reducir el peso durante el levantamiento lo que les permitía trabajar con mayores pesos durante la fase EXC del ejercicio.

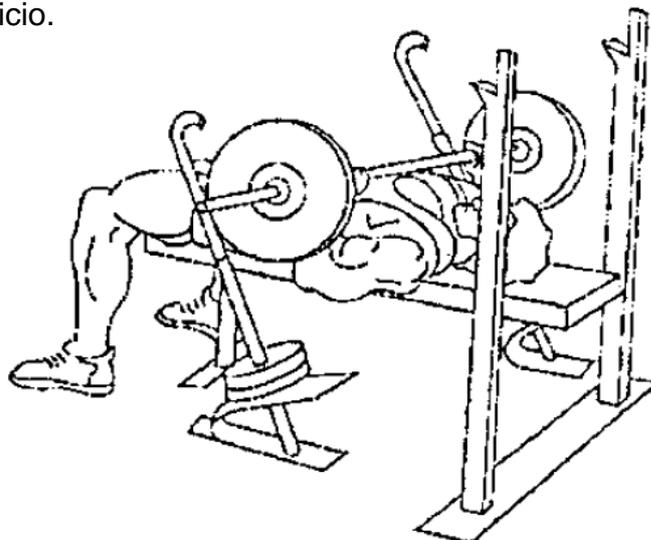


Figura 6. Aparato diseñado para liberar la barra en la parte baja del ejercicio (Doan *et al.*, 2002)

Friedmann *et al.*, (2004) llevaron a cabo un estudio en el cual usaron un aparato de extensión de piernas controlado por ordenador que permite sobrecargar específicamente la fase EXC. Por su parte Frohm *et al.*, (2005) utilizaron un aparato (figura 7) que permite la sobrecarga EXC en condiciones controladas y seguras. La máquina consta de una barra que es subida y bajada por un motor a una velocidad predeterminada.



Figura 7. Máquina para sobrecargar la fase excéntrica (Frohm *et al.*, 2005)

El *Negator* (figura 8) es un aparato que unido a una máquina isocinética permite incrementar la carga durante la fase EXC (Kaminski *et al.*, 1998).

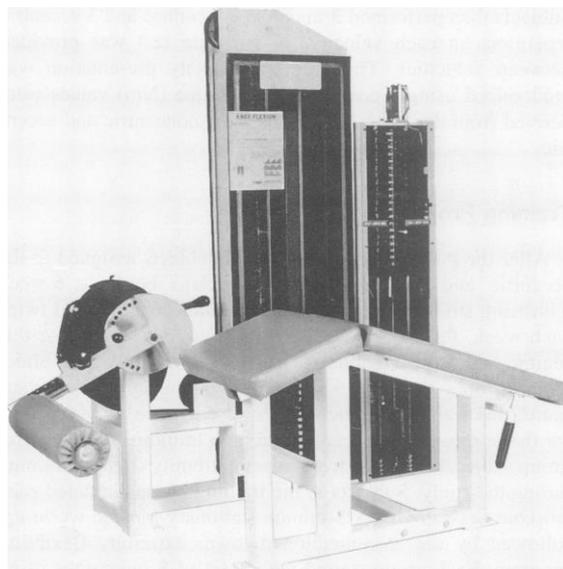


Figura 8. Máquina Negator (Kaminski *et al.*, 1998)

Guilhem *et al.*, (2010) desarrollaron otro aparato (figura 9) que también se une a una máquina isocinética que les permitía aislar la fase EXC

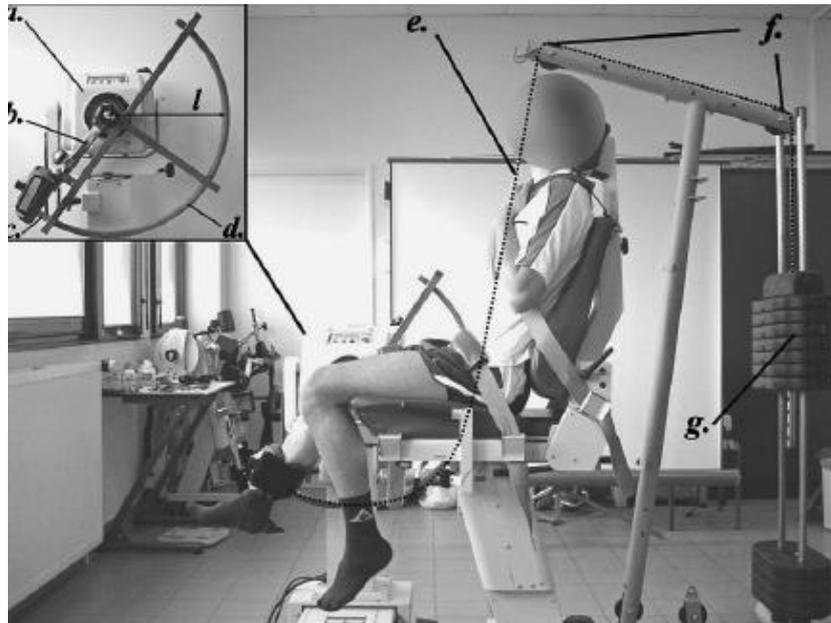


Figura 9. Máquina isocinética para aislar la fase excéntrica (Guilhem *et al.*, 2010)

El entrenamiento isocinético es una de las formas que más se usan en la investigación del trabajo EXC. Es uno de los tipos de entrenamiento menos conocido y raramente se ve una máquina para realizarlo en un gimnasio. En este tipo de entrenamiento la velocidad se mantiene constante durante la ejecución del movimiento, por lo que se requiere de un aparato especial. Aunque el entrenamiento isocinético es un método efectivo para la ganancia de fuerza muscular, tiene algunos inconvenientes para realización, entre ellos el elevado coste de los aparatos y que estos ejercicios no son movimientos naturales (Bera *et al.*, 2007). Sin embargo, fue hasta que se desarrollaron los dinamómetros activos, que el instrumento hizo posible la evaluación isocinética de la habilidad muscular para producir tensión bajo condiciones excéntricas (Kellis y Baltzopoulos, 1995).

En el presente estudio, hemos utilizado un sistema de volante que fue creado por Alkner y Tesch en 1994 (Tesch *et al.*, 2004b). Este aparato usa el sistema inercial, sistema que tiene como antecedente el aparato utilizado por Hill en 1922 (Figura 10), el cual fue usado cuando llevó a cabo su estudio sobre la

eficacia mecánica de los músculos, aunque en dicho estudio utiliza la inercia solo para la fase concéntrica.

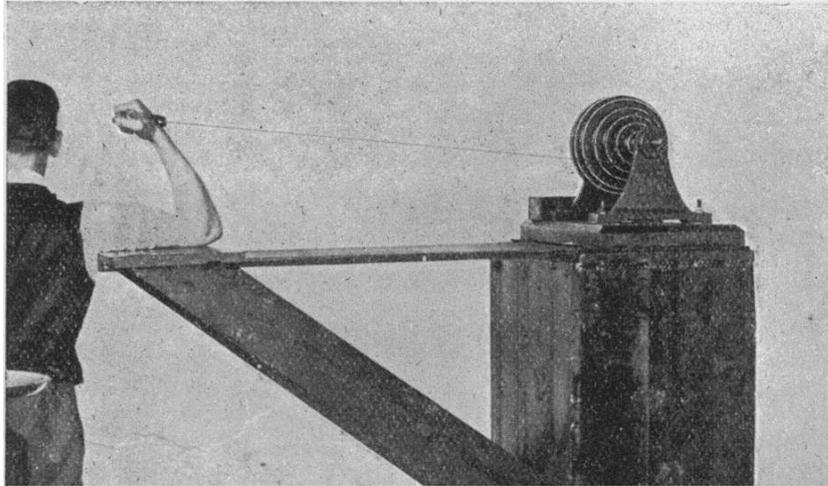


Figura 10. Máquina de volante inercial para brazos (Hill, 1922)

El sistema usa la inercia de 1 a 4 volantes de polímero para proveer resistencia durante las acciones musculares CON y EXC. Fue desarrollado en un inicio para el trabajo muscular de personas que estaban en gravedad cero, ya que bajo esta situación los sujetos pierden masa ósea y muscular (Berg y Tesch, 1994). Debido a la falta de gravedad en el espacio no pueden entrenar con pesas para evitar dichas pérdidas.

El sistema funciona de la siguiente forma; el sujeto en la posición de sentado empuja con los pies contra una placa desde una posición de 80-90° de flexión de la rodilla. Esto inicia la rotación de los volantes que tiran de una correa fijada al eje, el cual mantiene los volantes y la placa. Mientras la correa se desenrolla se le imprime energía al volante. Una vez que ha terminado el empuje (fase concéntrica) con las rodillas extendidas totalmente, la correa se enrolla por virtud de la energía cinética de la rotación del volante en el regreso a la placa. En un intento por resistir la fuerza producida por el tirón del volante, el cual recoge la correa, el sujeto realiza la acción muscular EXC. El siguiente ciclo es iniciado después de que el volante ha parado (Tesch *et al.*, 2005) (figura 11).

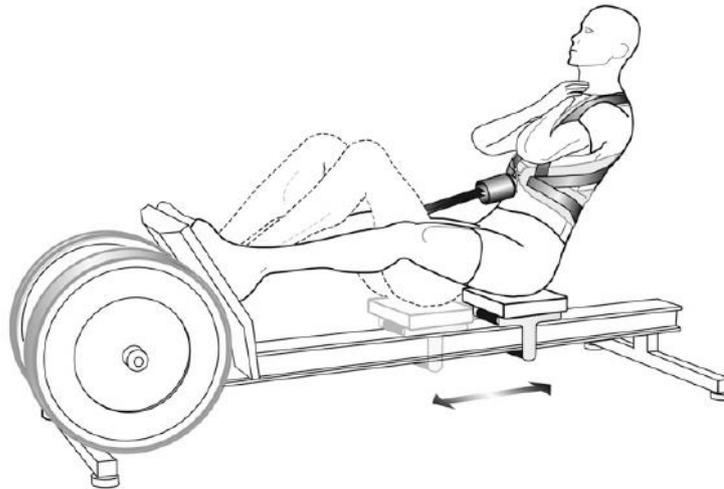


Figura 11. Máquina multigym YoYo Inertial Technology®
(Norrbrand *et al.*, 2011)

En la página de internet de la institución que fabrica los aparatos de resistencia inercial (YoYo Technology®) aparece una lista de 46 artículos que han usado este sistema hasta el 2011. Entre los estudios está uno que examina los efectos del entrenamiento de resistencia usando el sistema independiente de la gravedad sobre la fuerza y la masa muscular, el programa fue de cinco semanas de duración con un total de doce sesiones. Entre los resultados obtenidos figura un incremento significativo de la fuerza isométrica, mientras que la masa muscular no experimentó cambio significativo (Tesch *et al.*, 2004a).

Alkner y Tesch (2003) llevaron a cabo un estudio en el que simulaban el confinamiento en una estación espacial y evaluaron la efectividad de un programa de entrenamiento con un aparato inercial. La duración del programa fue de 10 días, participaron cuatro sujetos. Se midieron los efectos sobre la fuerza en seis diferentes ejercicios. Los resultados obtenidos fueron que mantuvieron la fuerza en la sentadilla y la prensa de pantorrilla, mientras que dos sujetos mantuvieron la fuerza en la extensión de espalda en los otros dos hubo un decremento. Los autores concluyen que el ergómetro es efectivo tanto para mantener la fuerza muscular como para incrementarla.

Posteriormente se llevó a cabo un estudio en el que los sujetos estuvieron en reposo durante 29 días, se determinaron los cambios de volumen muscular del extensor de la rodilla y del flexor plantar sin y con ejercicios de resistencia, los sujetos confinados en cama usaron un ergómetro inercial. El volumen muscular del grupo no entrenado disminuyó un 10% mientras, que el grupo que entrenó no mostró cambios (Alkner y Tesch, 2004).

Norrbrand *et al.*, (2008) ha realizado diversos estudios utilizando el sistema de volante inercial, en uno lo compararon con una máquina de resistencia convencional y sus efectos sobre el músculo esquelético. Encontraron que el entrenamiento con máquina convencional incrementó el volumen muscular un 3%, mientras que en el no entrenado no hubo cambios. Sin embargo, el grupo que entrenó con ergómetro inercial mejoró el volumen del miembro entrenado un 6,2%, en ambos casos la diferencia fue significativa. Posteriormente realizaron otra investigación donde compararon la activación muscular después de la aplicación de un programa de resistencia con los mismos aparatos anteriormente citados. Encontraron que hubo un incremento significativo de la fuerza (8,1%) de los sujetos que entrenaron con la máquina de volante inercial y un 4,8% de los que entrenaron con la máquina convencional en cuanto a la señal eléctrica la actividad fue mayor en el trabajo de la máquina de volante inercial (Norrbrand *et al.*, 2010). También compararon la intensidad de la señal durante el ejercicio con la prensa de piernas de volante inercial y la sentadilla con barra, obtuvieron que el ejercicio con volante producía similar o mayor activación de cuádriceps en comparación con el uso de la barra (Norrbrand *et al.*, 2011).

También encontramos que el sistema de volante inercial ha sido comparado con el entrenamiento en máquinas convencionales para ver sus efectos en pacientes con lesión de rodilla en donde se ha visto que mejora el balance de estos sujetos (Greenwood *et al.*, 2007). También se ha usado para el tratamiento de la tendinopatía patelar (Romero-Rodriguez *et al.*, 2011), para evaluar la recuperación después de un tiempo de reposo (Rittweger y Felsenberg, 2009), y para ver las propiedades mecánicas de los tendones a diferentes niveles de uso (Reeves, 2006).

Por su parte Gallagher *et al.*, (2005) determinaron el efecto de 84 días de reposo con entrenamiento y sin entrenamiento sobre la composición de las cadenas de miosina pesada de las fibras musculares. En el deporte Askling *et al.*, (2003) evaluaron un programa de entrenamiento de la fuerza para isquiotibiales en pretemporada de futbolistas y sus efectos sobre la ocurrencia y severidad de lesiones, los resultados obtenidos fueron positivos. Más recientemente Fernández-Gonzalo *et al.*, (2014) evaluaron los marcadores del daño muscular así como las adaptaciones al entrenamiento con sobrecarga EXC en hombres y mujeres.

En los últimos años han aparecidos diferentes aparatos aprovechando las virtudes del sistema inercial, como el usado por Chiu *et al.*, (2004) llamado Versapulley (figura 12) que consiste en un volante con dos masas de un kg colocados en los lados opuestos, al final del travesaño de metal de 0,48 m. un eje fijo en el centro del travesaño en el que rotan las masas. Un cono colocado sobre el volante, y como estos giran una correa se enreda y desenreda en el cono. Cuando la correa se desenreda, la longitud de la correa se incrementa (movimiento CON), cuando se desenreda completamente el cono continúa su giro y la cuerda inicia a enredarse en el cono (movimiento EXC).



Figura 12. El aparato Versapulley (Chiu *et al.*, 2004)

Caruso *et al.*, (2009) en el estudio midieron el lactato y diferentes variables del desempeño, este aparato conocido como *Inertial Exercise Trainer* (IET) (figura 13), impone la carga a través de pequeñas masas que se añaden a un trineo que corre en un carril de 1,9 metros figura

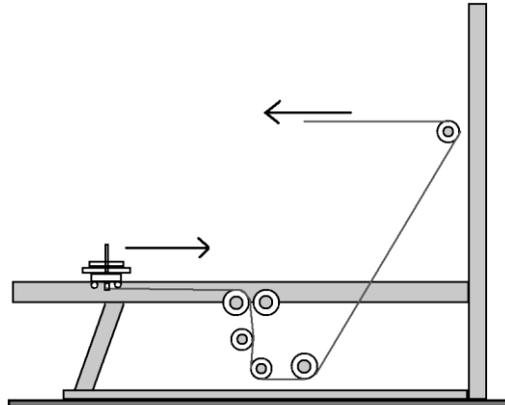


Figura 13. *Inertial Exercise Trainer* (IET)
(Caruso *et al.*, 2009)

Por su parte Loehr *et al.*, (2011) utilizaron el *Dispositivo de Ejercicio de Resistencia Avanzado* (ARED por sus siglas en inglés *Advanced Resistive Exercise Device*) (figura 14) donde la resistencia la proporcionan dos cilindros de vacío mientras que la inercia la proporcionan dos volantes, lo compararon con pesos libres y midieron su efecto sobre la masa muscular, la fuerza y otras variables.

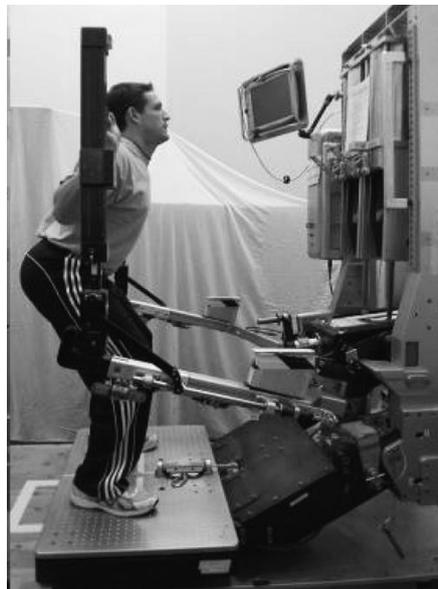


Figura 14. *Advanced Resistive Exercise Device* (ARED) (Loehr *et al.*, 2011)

Brzenczek-Owczarzak *et al.*, (2013) utilizan el *Sistema de Medición y Entrenamiento Inercial* (ITMS por sus siglas en inglés *Inertial Training and Measurement System*) (figura 15) el cual consiste de un marco de acero fijado al piso con volantes de inercia colocados en su interior.

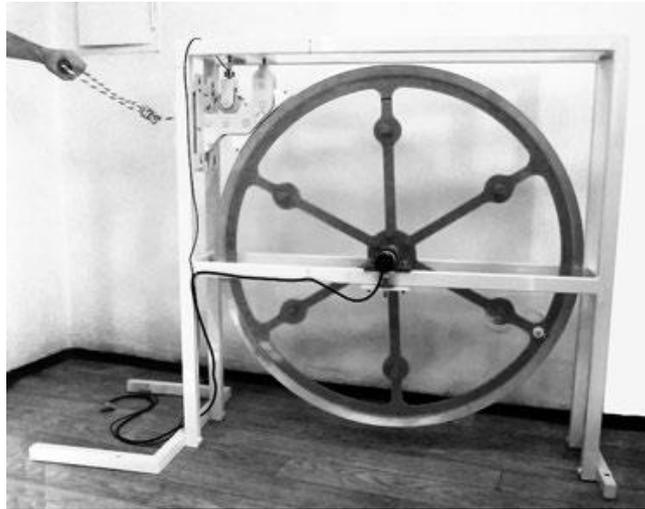


Figura 15. *Inertial Training and Measurement System (ITMS)* (Brzenczek-Owczarzak *et al.*, 2013)

5. OBJETIVOS

El objetivo general del presente estudio fue:

Determinar el efecto del entrenamiento unilateral excéntrico frente al concéntrico sobre la masa, fuerza y potencia muscular de los miembros inferiores de jóvenes universitarios realizado en una máquina isoinercial.

Los objetivos específicos fueron:

- a) Valorar la simetría en la masa, la fuerza máxima y la potencia muscular entre la extremidad dominante frente a la no dominante.
- b) Estudiar el efecto que el entrenamiento concéntrico ejerce sobre la masa, fuerza máxima y potencia muscular y la influencia del género en estos efectos.
- c) Determinar los cambios que el entrenamiento excéntrico ejerce sobre la masa, fuerza y potencia muscular en jóvenes de diferente sexo.
- d) Comparar las modificaciones de dos tipos de entrenamiento, excéntrico y concéntrico, sobre la masa, fuerza máxima y la potencia muscular.

6. MÉTODO

6.1. Diseño: del estudio: En la figura 16 se muestra el esquema del diseño de la investigación



Figura 16. Diseño de la investigación

6.2. Participantes: Participaron en el presente estudio 27 estudiantes (15 hombres y 12 mujeres) de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física de la Universidad de León. Todos ellos saludables, sin problemas óseos o músculo-tendinosos en los últimos tres años. Atendieron una invitación hecha por los responsables del estudio. Se les informó de los beneficios y riesgos del estudio, y posteriormente dieron su consentimiento firmado. Fueron asignados aleatoriamente al grupo DE, derecho EXC, (8 hombres y 6 mujeres) o al IE, izquierdo EXC, (7 hombres y 6 mujeres). Se les indicó que continuaran con sus actividades normales mientras durara el estudio y se les pidió que no se involucraran en actividades de entrenamiento unilateral. Todos los sujetos eran activos físicamente.

6.3. Medición de la masa muscular: la masa muscular, *lean mass* (masa libre de grasa) fue la primera de las variables que se midió antes y después del entrenamiento. Se utilizó un densitómetro (Prodigy Primo-General Electric[®]) con un software enCore 2009[®] versión 13.20.033.

Para llevar a cabo la medición se le pedía a los sujetos que se quitaran todo lo que llevaran de metal así como las zapatillas, posteriormente se les indicaba que se tendieran decúbito dorsal en la camilla del densitómetro para que pudieran ser escaneados por el brazo del mismo. Se les colocaba en la posición indicada por el manual de medición del aparato, decúbito supino con pies separados y sujetos por una cinta de velcro, ya colocados en la posición se les pedía que permanecieran lo más tranquilo posible y sin moverse. La medición fue de cuerpo completo y cada una duraba aproximadamente seis minutos. Antes de cada sesión de evaluación el densitómetro era calibrado con un *phantom* precalibrado.

Después del registro corporal densitométrico, se llevó a cabo el análisis de la masa magra de cada uno de los muslos, para lo cual se determinaron diferentes regiones de interés (ROI por sus siglas en inglés Region Of Interest). En concreto se realizaron cuatro ROIs por muslo, una fue para medir la masa magra total del muslo (MT), trazando un rectángulo desde el borde superoposterior del hueso iliaco, comprendiendo todo el muslo hasta la línea femorotibial y por dentro una línea perpendicular a la sínfisis púbica. Los otros tres ROI fueron cortes de 20 mm de grosor: el primero, bajo (B), a 6 cm de la interlínea de los cóndilos femorales, el segundo, medio (M), a 14 cm de la línea y el tercero, alta (A), a 22 cm. En la figura 5 se muestran los ROI que se realizaron para cada una de las piernas (figura 17).

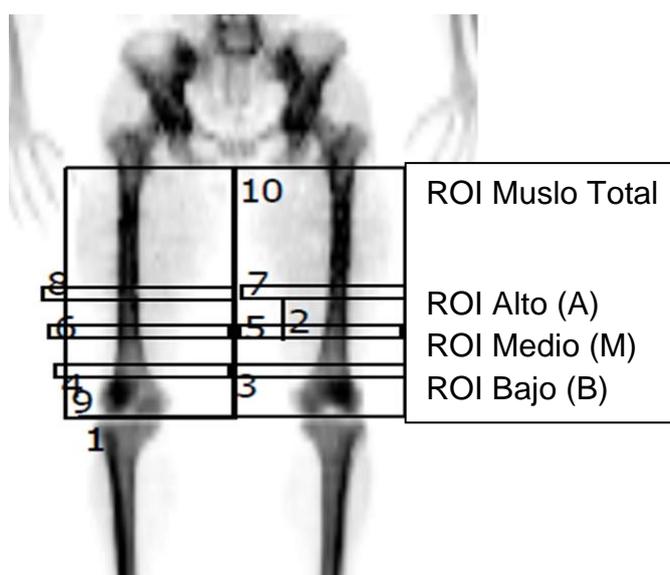


Figura 17. Regiones de interés (ROIs) de los muslos evaluados

6.4. Medición de la fuerza máxima: la fuerza máxima de cada una de las piernas fue medida con una repetición máxima (1-RM) usando la sentadilla unilateral modificada (SUM) (McCurdy *et al.*, 2004). Para hacer el ejercicio más estable, seguro y reproducible, la sentadilla se realizó en una máquina *Smith* (Schwanbeck *et al.*, 2009) (Gervasport, España) a la cual se le adicionó un travesaño metálico en la parte superior, lo que nos permitía colocar una correa (Capacidad de una tonelada) para sujetar la barra y evitar que bajara más allá de lo deseado, además nos servía como medida de seguridad, para evitar una posible caída accidental del peso sobre el sujeto experimental. Se midió la fuerza de las piernas en dos días, primero se midió la pierna dominante y un día después la no dominante. La pierna que no se medía se aislaba colocando el pie por detrás del plano frontal de los hombros en un cajón de 25 cm de altura que se colocaba en la parte trasera del aparato. La sesión de medición iniciaba con un calentamiento de 5 minutos en cicloergómetro y 2 minutos de estiramientos. Después de haber terminado el calentamiento se le pedía al sujeto que se colocara debajo de la barra (pasándola tras la nuca y sujetándola sobre los hombros) y la levantara. Posteriormente se le pedía que flexionara la rodilla de la extremidad inferior a evaluar hasta que alcanzara un ángulo de 90°, mientras un investigador medía el ángulo otro fijaba la correa y sobre un tapete antideslizante negro, en el que ponía su pie de apoyo, se pintaba una raya que servía de referencia para la colocación del pie en los sucesivos intentos para levantar el peso. Enseguida el sujeto realizaba una serie de ocho repeticiones con un peso equivalente al 70% de su peso corporal, lo que le servía de calentamiento, la pausa de descanso entre cada intento fue de 3 minutos. Después se incrementaba con el equivalente a un 30% de la carga inicial y se le pedía que hiciera dos repeticiones, si el intento era exitoso entonces se incrementaba la carga con otro 30 o 20% de acuerdo a la ejecución del ejercicio y a como había percibido el esfuerzo (entre cada intento se le pedía que indicara el nivel del esfuerzo en la escala OMNI-Res, la cual ha sido validada para evaluaciones de fuerza (Robertson *et al.*, 2003)). Los intentos seguían hasta que realizara un solo levantamiento, si fallaba y no podía realizar ninguno se le quitaba la mitad del peso incrementado para realizar otro intento. Para evitar que el sujeto utilizara la correa para rebotar y

así levantar el peso, se le pedía que bajara lentamente y permaneciera un segundo en la posición baja antes de iniciar la subida (Figura 18). Al subir se le pedía que al sujeto que extendiera completamente la pierna.



Figura 18. Sentadilla unilateral modificada (SUM) en máquina *Smith*

6.5. Medición de la potencia: Para medir la potencia muscular se utilizó la sentadilla unilateral modificada, además se empleó un *encoder* (transductor de posición lineal) (Globus, Real Power®, Italia) el cual se fijó en uno de los extremos de la barra por la parte interior de la máquina *Smith*, se usaron cinco diferentes cargas: 30, 40, 50, 60 y 70 por ciento (%) del respectivo 1-RM para cada pierna, su distribución fue aleatoria. El sujeto calentaba de la misma forma que para la medición de la fuerza muscular. Posteriormente se le pedía que se colocara la barra descargada sobre los hombros y que colocara la pierna no dominante sobre el cajón colocado en la parte posterior, se le pedía que bajara hasta la rodilla de la pierna derecha formara un ángulo de 90° y que mantuviera la posición mientras se ajustaba la correa y se marcaba el lugar de colocación del pie. Después se colocaba el peso correspondiente para que realizara el primer intento, el sujeto realizaba tres repeticiones, se le indicaba

que bajara lentamente hasta que tocara la correa, para evitar el rebote se le pedía que permaneciera un segundo antes de iniciar la subida. Para el levantamiento de la carga el sujeto los hacía lo más rápido posible. Un minuto después se evaluaba la pierna del otro lado utilizando las medidas ya realizadas. Para el análisis de la potencia se usó el *software Tesys 2008-Real Power 20.40 Test* (figura 19), de los tres intentos se eligió el que tuviera la mayor potencia media, si había dos con el mismo valor entonces se optó por aquella que tuviera un mayor recorrido.

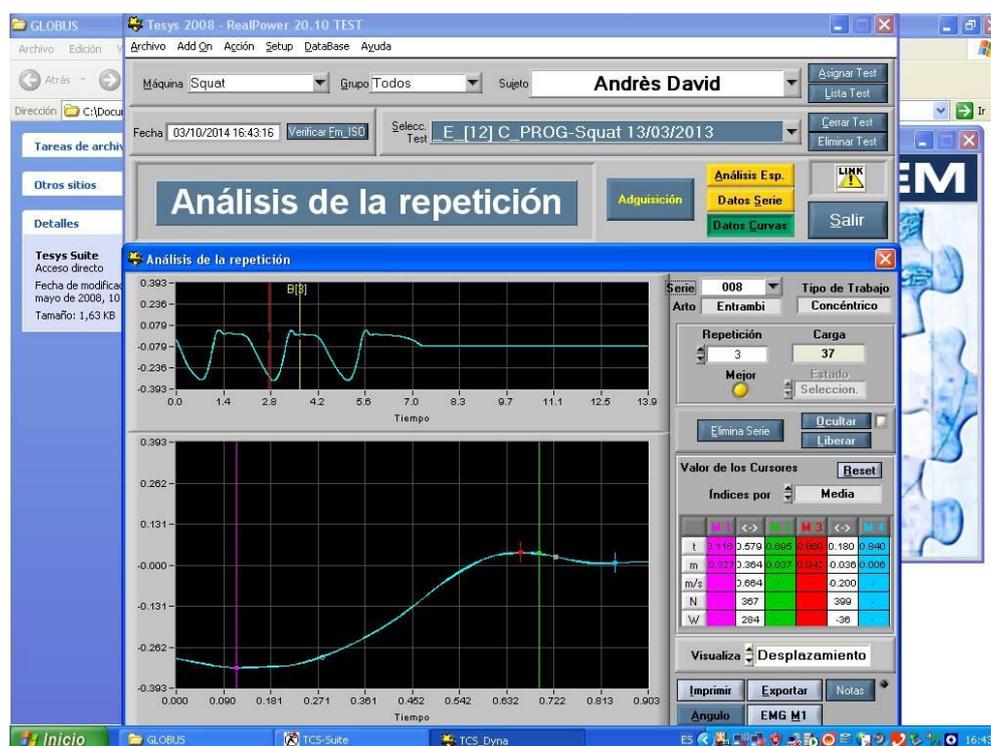


Figura 19. Pantalla del software utilizado para medir la potencia

6.6. Programa de entrenamiento: El entrenamiento tuvo una duración de ocho semanas, con una frecuencia de dos sesiones semanales, con un mínimo de 48 horas de separación entre sesiones. La sesión constaba de 4 series de 7 repeticiones de *press* de pierna horizontal en una máquina de volante inercial (YoYo™ Technology Inc. Estocolmo, Suecia), el descanso entre serie fue de 2 minutos. La máquina está modificada (figura 20) ya que en el lugar del asiento original (y colocación de un arnés torácico- abdominal al sujeto), se le acopló un asiento con un respaldo de 130° de inclinación sobre el plano del asiento, traccionando la correa del dispositivo YoYo del asiento.



Figura 20. Entrenamiento unilateral en máquina inercial

También se usó un *encoder* óptico (Smart Coach®, Suecia) que conecta la máquina con un ordenador para registrar la potencia, fuerza y velocidad a la que se realiza cada repetición del entrenamiento. Con el software Smart Coach® (Suecia) (figura 21) se llevó a cabo el seguimiento de los entrenamientos. La sesión de entrenamiento iniciaba con un calentamiento de cinco minutos en cicloergómetro y dos minutos de estiramiento, posteriormente se le solicitaba al sujeto que se sentara en la máquina para ajustar la correa a la distancia donde las rodillas tuvieran una extensión de 180° . Después de haber establecido la distancia del recorrido se recogía la correa hasta que el sujeto tuviera la rodilla (con la que empujaba) aproximadamente a $80-90^{\circ}$ de flexión, enseguida se le indicaba que empujara con la mayor fuerza posible. Cuando la pierna se extendía completamente el sujeto cambiaba lo más rápido posible de pierna, para de esta forma cuando la correa era recogida por la energía cinética almacenada por el volante se le pedía que resistiera al acortamiento de la misma, de esta forma realizaba las acciones excéntricas. Después de ejecutar cada serie el sujeto era retroalimentado sobre su desempeño con las gráficas de su ejecución que aparecían en el monitor del ordenador. En todos los casos se les pedía a los participantes que ejecutaran los ejercicios a máxima intensidad (*all out*).

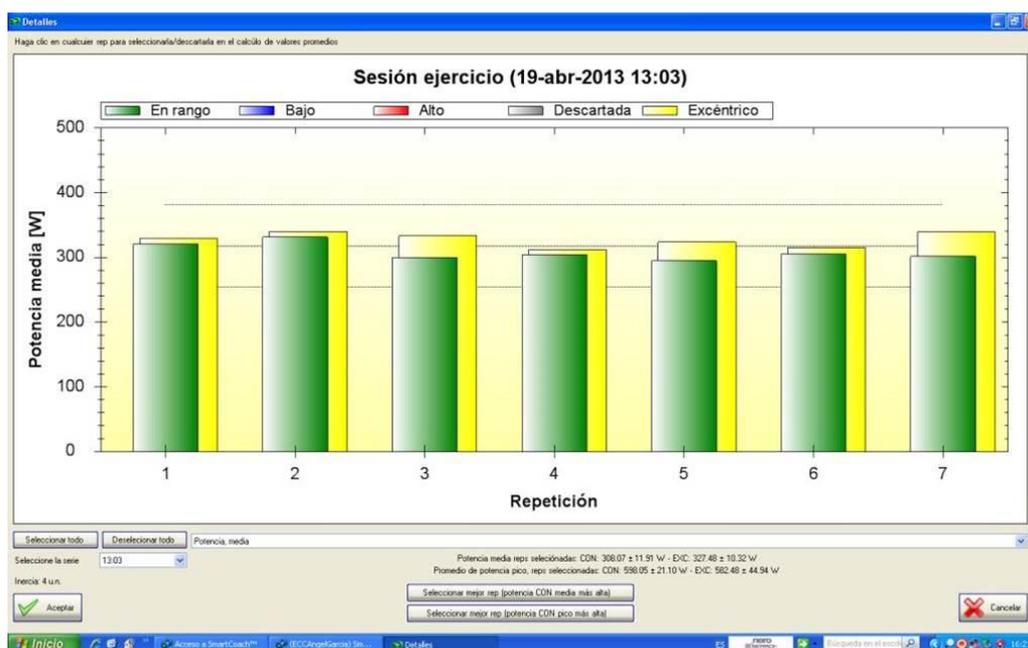


Figura 21. Captura de pantalla del software utilizado para monitorizar el entrenamiento

La carga con la que entrenaron las mujeres fue un volante de polímero PVC con espesor de 13 mm, diámetro de 0,44 m y peso de 2,5 kg con un momento de inercia de $0,0719 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. En el caso de los hombres, además del volante descrito previamente se utilizó otro de virutas de madera moldeada con espesor de 12 mm, diámetro de 0,44 m y peso de 1 kg con un momento de inercia de $0,0359 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

6.7. Análisis estadístico: para el análisis de los datos se usó el programa estadístico SPSS (versión 18). Los valores descriptivos se muestran como la media más menos la desviación estándar ($M \pm DE$). Tras el estudio de la normalidad en la distribución y verificarse que era binomial como consecuencia del sexo, con la prueba Shapiro Wilk se procedió al análisis de las variables, estudiadas tanto en toda la muestra como segmentada por el sexo. El efecto del entrenamiento se comprobó mediante la prueba *t* de *Student* para muestras relacionadas. La comparación del efecto del entrenamiento en los hombres y las mujeres sobre las diferentes variables estudiadas, se realizó mediante la prueba *t* de *Student* para muestras independientes. Si alguna variable no presentaba normalidad en ambos grupos entonces se le aplicaba una prueba no paramétrica (la U de Mann Whitney) para determinar su diferencia, se estableció un nivel de significancia mínimo de una $p \leq 0.05$.)

7. RESULTADOS

7.1. Sujetos.

De los 27 sujetos que iniciaron el estudio, 3 (hombres) no lo concluyeron debido a lesiones (ajenas al entrenamiento del estudio), por lo que fueron 24 los que terminaron y completaron las ocho semanas (16 sesiones) de entrenamiento. En la tabla 1 se muestran las características generales de los participantes en el estudio.

Tabla 1. Características generales de los participantes

Variable	Grupo total (n = 24)	Hombres (n = 12)	Mujeres (n = 12)
Edad (años)	20,9 ± 2,5	22,1 ± 2,7	19,7 ± 1,7*
Peso (kg)	66,9 ± 14,5	76,5 ± 11,7	57 ± 9,9*
Estatura (cm)	171 ± 9	177 ± 9	164 ± 5*
IMC (kg m ⁻²)	22,8 ± 3,8	24,4 ± 3,5	21,2 ± 3,5*

IMC = Índice de masa corporal

* Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre hombres y mujeres

Puede observarse cómo las mujeres son un poco más jóvenes, menos pesadas y más bajas, si bien las mujeres de nuestro trabajo presentan un IMC más bajo que el de los varones.

7.2. Programa de entrenamiento

En la tabla 2 se muestran los valores promedios de las potencias medias realizadas en todas las repeticiones hechas a lo largo de todas las sesiones del programa de entrenamiento.

Tabla 2. Potencia promedio de las acciones concéntricas y excéntricas durante el entrenamiento

	Grupo (n = 24)	Mujeres (n = 12)	Hombres (n = 12)
CON	202,0 ± 15,3	142,4 ± 6	283,4 ± 27,4#
EXC	226,2 ± 12,5*	154,9 ± 5,8*	322,3 ± 23,4*#

CON = Acciones concéntricas y EXC = Acciones excéntricas

* Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre la potencia promedio del entrenamiento excéntrico y concéntrico del grupo total

diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre hombres y mujeres

En primer lugar, en lo referente a los valores de potencia promedio desarrollada durante todas las repeticiones concéntricas (CON) y excéntricas (EXC) llevadas a cabo durante todo el programa de entrenamiento, podemos observar que la potencia promedio desarrollada en las acciones excéntricas fue superior significativamente ($p \leq 0,01$), un 12,5% mayor, que las manifestadas en las acciones concéntricas.

También se puede apreciar que la potencia desarrollada en las diferentes sesiones de entrenamiento tanto en las fases concéntricas como en las excéntricas, fue claramente inferior en las mujeres con respecto a los varones, pero tanto los varones como las mujeres manifestaron menor potencia media en las acciones concéntricas que las excéntricas.

En la tabla 3, detallamos el tiempo promedio empleado en las diferentes sesiones tanto en la fase concéntrica, la excéntrica como en el ciclo concéntrico-excéntrico. También la duración efectiva (sin considerar el tiempo de calentamiento y los descansos entre cada repetición y serie).

Tabla 3. Duración promedio de las acciones aisladas, durante el ciclo concéntrico y excéntrico y tiempo efectivo del entrenamiento

	Grupo (n = 24)	Mujeres (n = 12)	Hombres (n = 12)
CON (seg)	1,4 ± 0,1	1,38 ± 0,1	1,37 ± 0,1
EXC (seg)	1,2 ± 0,1*	1,27 ± 0,1*	1,20 ± 0,1*
CON-EXC (seg)	2,6 ± 0,2	2,65 ± 0,3	2,57 ± 0,2
Tiempo efectivo del entrenamiento	1 min 21 seg	1 min 24 seg	1 min 20 seg

CON = Acciones concéntricas y EXC = Acciones excéntricas

*Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre las acciones excéntricas y las concéntricas

Como se refleja en la tabla, tanto en el grupo de las mujeres, de los varones y el grupo en general, se aprecia que la duración de las acciones excéntricas fue significativamente más breve que las concéntricas, sin que hubiera diferencias en la duración de las dos acciones entre varones y mujeres.

7.3. Valores iniciales

En la tabla 4 se muestran los valores iniciales de la fuerza máxima y de la masa muscular de los participantes, en ella se puede observar que tanto la pierna derecha como izquierda presentan valores similares

Tabla 4. Valores iniciales de la fuerza máxima y masamuscular de la pierna derecha e izquierda (n = 24)

	Pierna Derecha	Pierna Izquierda
Fuerza Máxima (kg)	85,8 ± 20,7	85,13 ± 21,4
Masa Muscular (gr)		
ROI MT	5420,0 ± 1420,0	5377,0 ± 1465,0
ROI B	158,8 ± 33,0	158,1 ± 32,7
ROI M	234,8 ± 47,0	233,6 ± 47,4
ROI A	306,8 ± 61,0	304,3 ± 61,7

ROI = Región de interés MT= Muslo Total, B = Bajo, M= Medio y A = Alto

En la tabla 5 se muestra la comparación de la potencia desarrollada por la pierna derecha e izquierda a diferentes cargas de la fuerza máxima del grupo de participantes, en ella se puede observar que no hubo diferencia en ninguna de las cargas evaluadas. También resalta el hecho de que la potencia máxima es alcanzada cuando se evalúa con cargas correspondientes al 60 y 70% de la 1-RM.

Tabla 5. Comparación de la potencia entre la pierna derecha e izquierda (n = 24)

1-RM	Pierna Derecha	Pierna Izquierda
30%	244 ± 84	251 ± 84
40%	283 ± 95	295 ± 93
50%	344 ± 93	332 ± 98
60%	382 ± 52	360 ± 88
70%	373 ± 79	365 ± 12

1RM = Una repetición máxima

7.4. Masa Muscular

En las tablas 6 y 7 se recogen los valores relativos a la masa libre de grasa, en los diferentes ROIs determinados, tanto para el grupo total (tabla 6) como separadamente en el grupo de mujeres y varones (tabla 7) tanto antes como después de la intervención y de manera separada la pierna que entrenó de manera concéntrica y la que entrenó de forma excéntrica, así como la variación

absoluta en los gramos de los diferentes ROIs existentes tras la intervención (Δ).

Tabla 6. Masa magra (gr) de los ROIs antes y después del entrenamiento (n = 24)

	Pre-test	Post-test	Δ
ROI Muslo EXC	5185,9 \pm 1459	5390,4 \pm 1487,9*	213,4 \pm 216,1#
ROI Muslo CON	5248,2 \pm 1458	5380,9 \pm 1501,8*	132,8 \pm 225,9
ROI B EXC	158,4 \pm 33,3	165,3 \pm 34,7*	6,9 \pm 12,6#
ROI B CON	158,4 \pm 32,4	162,1 \pm 34,8	3,6 \pm 10,8
ROI M EXC	234,2 \pm 48,2	240,5 \pm 49,2*	6,3 \pm 12,9
ROI M CON	234,2 \pm 46,2	239,6 \pm 48,4	5,3 \pm 14,9
ROI A EXC	304,6 \pm 60	316,2 \pm 62,4*	11,5 \pm 14,3
ROI A CON	306,4 \pm 61	316,7 \pm 62,2*	10,3 \pm 15,9

* Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el pre-test y el post-test intra grupo

Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el Δ de entrenamiento EXC y CON

ROI = región e interés (corte), B = bajo, M = medio y A = alto

CON = Acciones concéntricas y EXC = Acciones excéntricas

Δ = diferencia entre el pre-test y el post-test

En la tabla 6, se puede apreciar cómo en el grupo general no hubo diferencias en la masa libre de grasa entre la pierna que realizó trabajo concéntrico y la que hizo excéntrico, ni antes ni después del entrenamiento. Es de resaltar que como consecuencia del entrenamiento, cuando estudiamos el muslo entero, tanto el entrenamiento excéntrico como el concéntrico produjeron incrementos significativos de la masa muscular. Pero cuando el fragmento de la extremidad es más pequeño, solo se aprecia hipertrofia en la extremidad que entrenó excéntricamente (a excepción del ROI A, que también incremento con el entrenamiento concéntrico) Sin embargo, cuando comparamos los cambios absolutos (Δ), en función del tiempo de entrenamiento, solo se aprecia diferencia en los Δ de todo el muslo y no en los delta del ROI (a excepción del ROI B EXC) que recogen menos cantidad de masa.

En la tabla 7, se muestran las mismas variables que la tabla 6, pero segmentadas por la variable sexo. Se puede apreciar cómo las mujeres en cualquiera de los ROIs presentan una menor masa muscular que los varones, al igual que ocurría en el grupo global. En las mujeres se aprecia un incremento significativo de la masa muscular del muslo que llevó a cabo tanto

entrenamiento excéntrico como concéntrico, mientras que los varones solo incrementaron con el entrenamiento excéntrico. No se llega a apreciar hipertrofia cuando se analiza el corte más pequeño (a excepción del ROI M y el ROI A de la pierna que entrenó excéntricamente), que al estar más alto en el muslo contiene más masa). No hay diferencias entre los deltas de la masa entre el entrenamiento concéntrico frente al excéntrico ni en los deltas de los mismos ROIs entre varones y mujeres

Tabla 7. Masa magra (gr) de mujeres y hombres antes y después del entrenamiento

	Mujeres (n = 12)			Hombres (n = 12)		
	Pre-test	Post-test	Δ (gr)	Pre-test	Post-test	Δ (gr)
ROI M EXC	3935,3 ± 504	4104 ± 496,7*	169 ± 153,5#	6437 ± 886,3\$	6695 ± 842,0\$*	258 ± 264
ROI M CON	3987,6 ± 432	4077,3 ± 487,4*	90 ± 139,1	6509 ± 888,9\$	6685 ± 877,6\$	176 ± 289
ROI B EXC	130,3 ± 15,9	134,7 ± 14,8	4,4 ± 10,1	186,6 ± 18,4\$	196 ± 15,2\$	9,42 ± 15,3
ROI B CON	129,3 ± 13,3	130,6 ± 13,6	1,3 ± 10,1	187,6 ± 12,9\$	196 ± 15,2\$	6 ± 11,4
ROI M EXC	192,5 ± 25	194 ± 28,2‡	5,7 ± 12,1	274,9 ± 25\$	281,8 ± 23,1\$	6,9 ± 14,2
ROI M CON	196 ± 22,8	197,9 ± 26,7	3,9 ± 15,7	274,5 ± 20,1\$	281,3 ± 19,9\$	6,8 ± 14,8
ROI A EXC	253,1 ± 36,1	263,3 ± 38,7‡	10 ± 4,6	356,3 ± 28\$	369 ± 23,7\$*	12,8 ± 16,2
ROI A CON	258,3 ± 32,1	263,4 ± 37,2	10 ± 5,5	359,7 ± 24,2\$	370,1 ± 22,2\$*	10,4 ± 12,9

* Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el pre y el pos-test intra grupo

Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el Δ del entrenamiento EXC y CON intra grupo

‡ Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el mismo ROI pierna contralateral intra grupo

\$ Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre hombres y mujeres, en el mismo movimiento evaluativo

ROI = región de interés (corte)

Δ = Diferencia entre el Pre-test y el post-test

7.5. Fuerza muscular

En la tabla 8 se muestran los valores de la fuerza máxima (1RM) en la sentadilla unilateral del grupo general. Y se puede apreciar que no hay diferencia en esta manifestación de la fuerza entre las piernas antes de iniciar el entrenamiento. Como consecuencia del entrenamiento tanto la pierna que entrenó concéntrico como la que entrenó excéntrico experimentaron un incremento significativo, si bien no hubo diferencia entre la magnitud del

cambio experimentado en la pierna que entrenó excéntricamente con respecto al de la pierna que entrenó concéntricamente.

Tabla 8. Fuerza máxima (kg) antes y después del entrenamiento (n = 24)

	Pre-test	Post-test	Δ
EXC	86,0 ± 24,4	99 ± 26,6*	13,0 ± 11,0
CON	86,1 ± 26,7	94 ± 26,6*	8,8 ± 11,6

* Diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el pre-test y el post-test

EXC = Entrenamiento excéntrico y CON = Entrenamiento concéntrico

Δ = Diferencia entre el pre-test y el post-test

En la tabla 9 recogemos la misma variable pero desagrupada por sexos. Se aprecia que las consideraciones hechas en el grupo global son aplicables tanto al grupo de varones como al de mujeres, y como era de esperar, la fuerza máxima de las mujeres fue menor que la de los varones, si bien no hubo diferencia en la magnitud del incremento de fuerza en los sexos.

Tabla 9. Comparación de la fuerza máxima (kg) entre hombres y mujeres

	Mujeres (n = 12)			Hombres (n = 12)		
	Pre-test	Post-test	Δ (kg)	Pre-test	Post-test	Δ (kg)
EXC	68,3 ± 16,9	77,2 ± 13,1*	8,8 ± 6,3	103,8 ± 16,7\$	120,8 ± 16,5\$*	17,1 ± 13,3
CON	68,3 ± 11,1	74,2 ± 12,3*	5,9 ± 7,1	103,9 ± 18,8\$	115,6 ± 19,8\$*	11,7 ± 14,5

* Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el pre-test y el post-test

\$ Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre hombres y mujeres

CON = Acciones concéntricas y EXC = Acciones excéntricas

7.6. Potencia muscular

En las tablas 10 y 11, recogemos los valores de las potencias medias manifestadas en las acciones concéntricas unilaterales venciendo resistencias entre el 30 y el 70% de 1RM, tanto antes como después de la intervención y la magnitud del cambio.

En la tabla 10, se muestran los valores del grupo en general, y en primer lugar resaltar que no hay diferencias entre la pierna que entrenó de manera concéntrica respecto a la que entrenó de manera excéntrica (tanto antes como

después del programa de entrenamiento). Se puede apreciar que en la pierna que trabajó de manera excéntrica se incrementó la potencia media en la acción concéntrica cuando se vencía una resistencia del 30, 50, 60 y 70% de 1RM, mientras que en la pierna que trabajó concéntricamente esta mejoría se objetivó al ejercitarse contra una resistencia del 40 y 70% de 1RM únicamente.

Cuando se comparan los Δ del entrenamiento excéntrico y concéntrico con las diferentes cargas se puede observar que esta existe solo cuando se vence la carga correspondiente al 60% de la 1RM

Tabla 10. Potencia (W) desarrollada antes y después del entrenamiento (n = 24)

Grupo total (n = 24)			
	Pre-test	Post-test	Δ (W)
30% EXC	210,5 \pm 88,1	245 \pm 95,1*	35,3 \pm 66,8
30% CON	199,2 \pm 93,5	227 \pm 89,9	28,8 \pm 73
40% EXC	250,2 \pm 104,5	282 \pm 124,2	32,7 \pm 108
40% CON	244,8 \pm 93,8	276,3 \pm 111,5*	31,5 \pm 60,1
50% EXC	289,4 \pm 117,7	331,1 \pm 126,9*	41,7 \pm 64,8
50% CON	285,5 \pm 108,8	304,7 \pm 122,4	15,2 \pm 60,5
60% EXC	315,9 \pm 137,1	375,5 \pm 142,3*	63,5 \pm 103‡
60% CON	324,4 \pm 128,2	341,3 \pm 138,8	16,9 \pm 81,3
70% EXC	311,1 \pm 124,6	379,8 \pm 140,9*	68,7 \pm 77
70% CON	313,1 \pm 109	357,2 \pm 138,5*	44,1 \pm 86,5

* Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el pre y el pos-test

‡ Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) de la Δ del entrenamiento EXC y CON

CON = Acciones concéntricas y EXC = Acciones excéntricas

Δ = Diferencia entre el pre-test y post-test

Al segregar los valores por sexo, llama la atención que en las mujeres sólo se aprecia mejoras tras el programa de entrenamiento en la manifestación de la potencia media cuando se ejercitaban frente a una resistencia del 70% de 1RM y únicamente en la pierna que se había entrenado excéntricamente. Por el contrario en los hombres hubo una mejora de la potencia media en la pierna ejercitada excéntricamente cuando se medía frente a una resistencia igual o superior al 50% de 1RM, mientras que en la pierna entrenada concéntricamente únicamente se observaba con la carga igual al 70% de 1RM.

Tabla 11. Potencia (W) desarrollada a diferentes cargas (porcentaje de 1-RM) antes y después del entrenamiento entre hombres y mujeres

Potencia Media	Mujeres (n =12)			Hombres (n = 12)		
	Pre-test	Post-test	Δ (W)	Pre-test	Post-test	Δ (W)
EXC 30%	140,1 ± 41,5	171,2 ± 54,6	31,1 ± 59,1	280,8 ± 60,9\$	320,3 ± 61,7\$	39,4 ± 76,1
CON 30%	146,4 ± 53,4	170,8 ± 54,8	24,4 ± 39,1	251,9 ± 66,7\$	301,3 ± 59,1\$	49,4 ± 73,2
EXC 40%	170,8 ± 54,8	208,0 ± 66,5*	37,2 ± 56,5	329,5 ± 78,0\$	357,7 ± 125\$	28,2 ± 115,5
CON 40%	167,6 ± 48,9	186,4 ± 47,4*	18,8 ± 23,6	322,0 ± 54,8\$	366,0 ± 78,3\$	44,2 ± 81,5
EXC 50%	196,8 ± 60,3	229,7 ± 67,2	32,9 ± 75,6	382,1 ± 81,3\$	432,5 ± 82,6\$	50,4 ± 53,9
CON 50%	199,6 ± 61,3	203,3 ± 42,5	3,7 ± 32,5	379,5 ± 57,7\$	406,2 ± 84,2\$	26,7 ± 79,2
EXC 60%	212,3 ± 78,5	261,4 ± 77,8	49,2 ± 104,1	419,6 ± 98,5\$	497,5 ± 76,8\$	77,9 ± 104,3
CON 60%	229,3 ± 48,2	223,3 ± 77,7	6,1 ± 43,8	419,4 ± 92,7\$	459,3 ± 86,8\$	39,9 ± 103,6
EXC 70%	207,8 ± 53,3	266,8 ± 78,8*	59,1 ± 78,4	414,5 ± 79,4\$	492,8 ± 86,1\$	78,3 ± 77,9
CON 70%	232,9 ± 75,2	240,3 ± 51,1	7,4 ± 45,2	393,2 ± 72,0\$	474 ± 87,9\$	80,8 ± 103,3

* Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre el pre-test y el post-test

\$ Diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre hombres y mujeres

CON = Acciones concéntricas y EXC = Acciones excéntricas

Δ = Diferencia entre el pre-test y el post-test

8. DISCUSIÓN.

En primer lugar, empezaremos La discusión acerca del diseño de nuestra investigación. Cuando se estudia el desarrollo de la fuerza y la masa muscular se debe de tener en cuenta que existen diversas factores que lo afectan entre los que encontramos: nivel de entrenamiento, género, edad, alimentación del sujeto, etc. (Deschenes y Kraemer, 2002), sin embargo, con el diseño de entrenamiento unilateral y comparación intrasujeto estas variables se minimizan (Hubal et al., 2005) ya que la persona realiza los dos tipos de entrenamiento. Además con el diseño utilizado en este estudio también se disminuye el potencial efecto del entrenamiento cruzado que está presente en los diseños de trabajo unilateral. Otras dos limitantes importantes a las que se enfrentan los investigadores cuando comparan el entrenamiento EXC y CON, mencionados por Roig et al., (2009), es la dificultad de aislar la fase excéntrica y alcanzar altos niveles de fuerza durante esta fase, hecho por lo que muchas veces se trabaja por debajo del potencial EXC. Hortobagyi et al., (2001) mencionan que durante la fase EXC se puede ejercer hasta un 40-50% más de fuerza comparada con la CON. En el caso de nuestro estudio los sujetos tuvieron un 12,5% de potencia media promedio mayor durante la fase EXC en comparación con la CON. En cuanto al programa de entrenamiento decidimos utilizar el número de series, repeticiones y pausa de recuperación que han sido utilizadas en otros estudios (Norrbrand et al., 2008, Tesch et al., 2004a) y han mostrado ser efectivos en el incremento de la masa muscular en periodos de corta duración.

Otro punto que debemos destacar de nuestro estudio es el uso de la sentadilla en máquina Smith para medir el efecto del entrenamiento del dispositivo inercial sobre la fuerza muscular. Norrbrand et al., (2011) llevaron a cabo un estudio donde compararon la actividad eléctrica durante los ejercicios de sentadilla con barra libre y prensa de pierna en el dispositivo inercial, encontraron gran parecido en la activación de los músculos del cuádriceps durante el ejercicio en ambos tipos de dispositivos.

8.1. Valores Iniciales de la masa, fuerza y potencia muscular

En lo que se refiere a los valores iniciales de la masa magra, fuerza máxima y potencia muscular, no presentaron diferencia significativa cuando se comparó

la pierna derecha con la izquierda de los sujetos participantes. Todos los sujetos de nuestro estudio presentaron dominancia lateral derecha.

8.1.1. Masa muscular. En un estudio con futbolistas Masuda *et al.*, (2003) reportaron que aunque hubo diferencia de masa muscular entre las dos piernas de los sujetos, éstas fueron pequeñas y no representaron diferencia estadística. En nuestro estudio hubo un 1% de diferencia de la masa magra entre las dos piernas, resultados similares a los reportados por Demura *et al.*, (2001) en donde la diferencia fue menor al 1% entre la pierna derecha e izquierda aunque en su estudio determinaron la masa muscular con la circunferencia del muslo. Resultados también parecidos a los reportados por Dorado *et al.*, (2002) en un estudio donde participó un grupo golfistas, y a los mencionados por Krzykala, (2010) con un grupo de jugadores de hockey sobre pasto, la evaluación de la masa magra en ambos casos se hizo con el DXA. Chhibber y Singh (1970) pesaron los miembros inferiores de diez cadáveres, entre otras mediciones, encontraron que el cuádriceps del miembro dominante tenía un peso un 3% mayor que el del no dominante. Mayor diferencia (7-10%) reportan Tate *et al.*, (2006) en los músculos de los cuádriceps de un grupo de diez jóvenes que practicaban deporte con regularidad.

8.1.2. Fuerza máxima. En lo que se refiere a los resultados de la fuerza muscular los nuestros son similares a los reportados por McCurdy y Langdford (2005) cuando compararon la fuerza máxima de la pierna dominante y la no dominante evaluada con la SUM a un grupo de jóvenes, tanto hombres como mujeres de su estudio estuvieron por debajo del 1% de diferencia de la fuerza entre sus dos piernas. Lanshmmar y Ribom (2011) llevaron a cabo un estudio con mujeres de 20 a 39 años en la que evaluaron la fuerza isocinética de las piernas y encontraron que la fuerza del cuádriceps de la pierna dominante era mayor en un 5,3% que el de la no dominante. Theoharopoulos *et al.*, (2000) evaluaron jugadores de baloncesto profesionales y encontraron que la pierna de los extensores de rodilla de la pierna dominante eran un 4,5% y un 1,2 mayor para velocidades de $60^{\circ} \text{seg}^{-1}$ y $180^{\circ} \text{seg}^{-1}$ respectivamente en comparación con la pierna dominante.

8.1.3. Potencia muscular. La mayor potencia media desarrollada durante el pretest fue con las cargas del 60 y 70% de la 1-RM resultados similares a los reportados por Baker *et al.*, (2001) y Thomas *et al.*, (1996). En ese mismo sentido Siegel *et al.*, (2002) realizaron un estudio con jóvenes y evaluando con la sentadilla en máquina Smith los valores de potencia pico máximo ocurrieron con cargas del 60% de la 1-RM. Sin embargo, Harris *et al.*, (2007) y Thomas *et al.*, (2007) reportaron que los sujetos por ellos evaluados desplegaban la mayor potencia a cargas menores (40% de la 1-RM).

En cuanto a la comparación del despliegue de potencia entre las dos piernas, no hubo diferencia significativa en ninguna de las cargas usadas en la evaluación. Almeida *et al.*, (2012) encontraron en un grupo de mujeres una diferencia del 12% de la potencia máxima, tanto para los músculos extensores como flexores de la rodilla de la pierna dominante y no dominante. Rahnama *et al.*, (2005) reportan que el 68% de un grupo de jugadores de futbol presentaron anomalías musculoesqueléticas (desequilibrio mayor del 10%) entre la pierna preferida y la no preferida, la evaluación se hizo con una máquina isocinética.

Una de las formas más utilizadas de evaluar la potencia (saltabilidad) en el deporte es el salto en sus diversas modalidades. Sannicandro *et al.*, (2012) encontraron asimetría durante la fase excéntrica y la fuerza de reacción al piso durante el salto contramovimiento de jugadores de futbol jóvenes. Resultados similares reportan Schot *et al.*, (1994) en los momentos articulares así como en la fuerza de reacción de las piernas durante el salto. Por su parte Edwards *et al.*, (2012) evaluaron jugadores de baloncesto, futbol y atletas con el mismo salto, encontrando simetría en las variables cinéticas y cinemáticas medidas. Samadi *et al.*, (2009) utilizaron el salto con una sola pierna y no encontraron diferencia significativa entre la pierna dominante y la no dominante en el estudio llevado a cabo con tres diferentes grupos de personas. En las tres variables evaluadas (masa muscular, fuerza y potencia) en el presente estudio se puede apreciar que los sujetos participantes presentaban bajos niveles de asimetría. Aunque la diferencia de potencia entre la pierna dominante y la no dominante fue significativa en el estudio de Newton *et al.*, (2006) el porcentaje

fue de solo el 6,02%, porcentaje por debajo del límite del 10% que es considerado como el valor de asimetría normal (Lanshammar y Ribom, 2011).

8.2. Efectos del entrenamiento excéntrico y concéntrico.

8.2.1. Masa muscular. Se ha demostrado en diversos estudios que el sistema inercial es efectivo para el desarrollo de la masa muscular en entrenamientos de corta duración. Seynnes *et al.*, (2007) llevaron a cabo un estudio con 35 días de duración en el que utilizaron la máquina de extensión de pierna con dicho sistema y vieron que después del entrenamiento hubo un incremento de 6,5 y 7,4% de la masa muscular de la región distal y proximal respectivamente de los muslos. Por su parte Tesch *et al.*, (2004a) llevaron otro estudio de cinco semanas de duración con doce sesiones de entrenamiento unilateral y encontraron un incremento del 6,1% de cuádriceps de la pierna entrenada. y Norrbrand *et al.*, (2008) compararon la máquina de extensión de piernas convencional y una con sistema inercial, el entrenamiento fue unilateral, los resultados obtenidos fueron un incremento de 3,0 y 6,2% para el muslo de la pierna que entrenó en la máquina convencional y la que los hizo en la máquina inercial respectivamente. En nuestro estudio el incremento de la masa magra del muslo de la pierna que entrenó excéntricamente fue del 3,9% mientras que la que entrenó concéntricamente fue del 2,5%. Aunque nuestros sujetos entrenaron ocho semanas el total de sesiones no fue muy diferente con los estudios arriba mencionados, sin embargo, nuestros sujetos entrenaron las acciones musculares aisladas, a diferencia de estudios mencionados anteriormente, donde el entrenamiento lo hicieron con las acciones musculares acopladas.

En su estudio Mayhew *et al.*, (1995) encontraron en su estudio de cuatro semanas de duración y tres sesiones por semana un incremento significativo de las fibras tipo II del músculo entrenado concéntricamente (25%) en comparación con el entrenado excéntricamente (18%), en el nuestro hubo una diferencia significativa a favor del incremento de la masa magra del cuádriceps que entrenó excéntricamente.

Por su parte Jones y Rutherford (1987) encontraron que tanto el entrenamiento unilateral excéntrico como concéntrico (con una pierna realizaban acciones ECC y la otra acciones CON) incrementaban aproximadamente un 5% la masa muscular de las piernas entrenadas después de cuatro semanas, en este estudio no encontraron diferencia significativa cuando compararon los dos tipos de entrenamiento. Resultados similares encontraron Blazevich *et al.*, (2007a) en su estudio de 10 semanas de duración en el que los participantes realizaron 3 series de seis repeticiones por sesión y sus resultados fueron de aproximadamente 4,7% de incremento para ambos tipos de entrenamiento. Ben Sira *et al.*, (1995) no encontraron diferencia significativa en la circunferencia de los muslos cuando compararon el efecto del entrenamiento excéntrico sobre la masa muscular, aunque la duración del programa de entrenamiento fue ocho semanas la carga a la que entrenaron fue del 65 al 80% de la RM. Carga inferior a la recomendada para estimular la ganancia de masa muscular. Duncan *et al.*, (1989) habían usado previamente la medición de la circunferencia del miembro para comparar el efecto del entrenamiento EXC y CON, dentro de sus resultados no encontraron incremento significativo para ninguno de los tipos de entrenamiento.

Nickols-Richardson *et al.*, (2007) llevaron a cabo un estudio de 20 semanas de duración donde compararon el entrenamiento unilateral excéntrico y concéntrico de brazos y piernas en máquina isocinética, en el que el miembro no dominante era el entrenado y el dominante sirvió de control. Aunque los dos tipos de entrenamiento incrementaron significativamente el tejido blando libre de grasa del miembro entrenado en comparación con el miembro no entrenado, no encontraron diferencia significativa cuando compararon ambos tipos de entrenamiento. Los incrementos fueron para la pierna entrenada excéntricamente un 1,3% y para la entrenada concéntricamente un 2,7% mientras que los brazos incrementaron en mayor magnitud, 3,8% para el entrenado concéntricamente y 5,2% para el que entrenó excéntricamente.

Moore *et al.*, (2012) no encontraron diferencia significativa en el tipo de entrenamiento en un estudio donde los sujetos trabajaron al máximo, tanto durante la fase excéntrica como la concéntrica. El entrenamiento fue unilateral,

con un brazo realizaban la fase excéntrica y con el otro la fase concéntrica, el efecto de los dos tipos de entrenamiento sobre la masa muscular se comparó en el mismo sujeto. Los incrementos de la masa muscular con el entrenamiento EXC fue del $6,5 \pm 0,6\%$ mientras que para el entrenamiento CON fue del $4,6 \pm 0,4\%$. Aunque el entrenamiento fue unilateral al igual que en nuestro trabajo y los resultados de hipertrofia fueron mayores que los nuestros, hay que tomar en cuenta que la duración del entrenamiento fue de nueve semanas y que después del entrenamiento a los sujetos se les proporcionaba 10 g de proteína para mejorar la síntesis muscular después del ejercicio.

Cadore *et al.*, (2014) llevaron a cabo un estudio de seis semanas para determinar el efecto del entrenamiento EXC y el CON sobre diferentes variables, una de ellas el grosor del músculo vasto lateral, su hallazgo fue que ambos tipos de entrenamiento incrementaban significativamente y en la misma proporción el grosor del músculo antes mencionado.

Anteriormente Smith y Rutherford (1995) habían realizado un estudio donde diez sujetos entrenaron durante 20 semanas unilateralmente, con la pierna derecha realizaban acciones CON y con la izquierda EXC, el incremento de la sección transversal del cuádriceps de la pierna que entrenó concéntricamente fue de $4,6\%$ mientras que para el que lo hizo excéntricamente fue del $4,0\%$ sin diferencia entre los dos tipos de entrenamiento

Komi y Buskirk (1972) reportan que en su estudio de siete semanas de duración, en la que participaron 31 sujetos, la circunferencia de los brazos incrementaron significativamente únicamente los entrenados excéntricamente.

Al igual que en los resultados de nuestro estudio Higbie *et al.*, (1996) encontraron que tanto el entrenamiento EXC ($6,6\%$) como CON ($5,0\%$) producían un incremento significativo de la masa muscular de la pierna respectiva, cuando se compararon ambos tipos de entrenamiento, el EXC era significativamente mayor, sin embargo, a diferencia de nuestro estudio ese programa tuvo una duración de diez semanas (30 sesiones), los ejercicios fueron realizados en máquina isocinética y la masa muscular fue medida con IRM. Seger *et al.*, (1998) También utilizaron la máquina isocinética con un

programa de entrenamiento de diez semanas de duración. En este estudio se encontró que solo el entrenamiento excéntrico producía un incremento significativo de la masa muscular de la pierna entrenada.

Hortobagyi *et al.*, realizaron dos estudios, uno en 1996 y el otro en el 2000 en los que compararon el efecto del entrenamiento CON y EXC sobre diferentes variables. El entrenamiento fue del modelo de una sola pierna (izquierda), tuvo una duración de doce semanas y en ambos casos encontraron un incremento significativo del área de las fibras musculares tipo II del miembro entrenado excéntricamente. En el primer estudio el incremento de las fibras fue diez veces superior en el EXC que en el CON, mientras que en el segundo los incrementos fueron para el entrenamiento EXC 16% y para el CON 9,5%.

Farthing y Chilibeck (2003) compararon el entrenamiento EXC y CON de brazos a dos velocidades (lenta y rápida). El entrenamiento se llevó a cabo en una máquina isocinética con una duración de ocho semanas. A diferencia de nosotros ellos encontraron que solo el entrenamiento EXC incrementaba significativamente la masa muscular y en mayor medida el de alta velocidad (13% rápida y 7,8% lenta). En cuanto al efecto del entrenamiento CON sobre la masa muscular, en los dos tipos de entrenamiento (CON lento 5,3% y rápido 2,6%) hubo una tendencia hacia el incremento significativo en comparación con el grupo control.

Vikne *et al.*, (2006) usaron un aparato diseñado especialmente para el trabajo de brazos para ese estudio, tanto para aislar la fase EXC como la CON en la eran ayudados por otras personas que bajaban o subían la carga, dependiendo de la necesidad. El entrenamiento fue de doce semanas de duración, en los resultados muestran un incremento significativo (del 11%) para los que entrenaron excéntricamente, mientras que los que entrenaron concéntricamente incrementaron solo un 3%, aunque la tendencia fue hacia un incremento significativo, no llegó a serlo.

En su meta-análisis Roig *et al.*, (2009) analizaron nueve estudios donde midieron la masa muscular y mencionan que existe un conflicto con respecto a su incremento después del entrenamiento concéntrico y excéntrico debido en

parte al uso de diferentes formas de medirla. Igual sucede con nuestro estudio ya que como se puede observar en los trabajos arriba presentados los investigadores usaron diversas formas de medir la masa muscular, desde una simple medición de la circunferencia del miembro entrenado (p. ej. Ben-Sira, *et al.*, 1995) hasta herramientas más sofisticadas como el ultrasonido Blazevich *et al.*, 2007 la TC (p. ej. Jones y Rutherford, 1987; Vikne, *et al.*, 2006) y la IMR (p. ej. Blazevich, *et al.*, 2007; Higbie, *et al.*, 1996) o bien biopsias musculares (p. ej. Hortobágyi, *et al.*, 2000; Mayhew, *et al.*, 1995). Solo en uno de los estudios analizados en este trabajo (Nickols-Richardson *et al.*, 2007) se utilizó el DXA para medir la masa muscular. También hay que añadir que existe diversidad en la duración de los programas de entrenamiento que van desde las 4 semanas (Mayhew *et al.*, 1995) hasta los cinco meses o 20 semanas (Nickols-Richardson *et al.*, 2007). Otro factor que hay que tomar en cuenta es que ninguno de los estudios analizados, donde se compara el entrenamiento EXC y CON, usaron el sistema inercial, la mayoría uso máquina isocinética. No obstante todas esos factores y de acuerdo con Roig *et al.*, (2009), tanto el entrenamiento CON como EXC ejecutado separadamente pueden promover el incremento de la masa muscular, sin embargo, es el EXC el del que se esperaría que lo hiciera en mayor magnitud.

La explicación al incremento significativo de la masa muscular con el entrenamiento EXC está dada principalmente por la tensión generada por las acciones involucradas en el tipo de entrenamiento lo que genera mayor estrés mecánico y daño muscular, los cuales son dos de los principales factores que promueven el desarrollo de la masa muscular (Schoenfeld, 2010)

En cuanto a los cambios de los tres cortes (de 20 mm) en la pierna que entrenó excéntricamente, la masa magra se incrementó significativamente en todos, mientras que la que entrenó concéntricamente solo aumentó significativamente el corte proximal (A), el cual es el que tiene mayor cantidad de masa. Aunque Vikne *et al.*, (2006) realizaron la medición de la masa con la TC e hicieron cuatro cortes en el brazo entrenado obtuvieron resultados parecidos a los nuestro, la masa muscular de los cuatro cortes del brazo que entrenaron concéntricamente aumentaron significativamente mientras que los cortes del

brazo que entrenaron concéntricamente ninguno incrementó significativamente. Balzevich *et al.*, (2007a) por su parte analizaron la masa muscular usaron tres cortes (25, 50 y 75% de la longitud del muslo) y aunque no encontraron diferencia significativa en el incremento significativo en ninguno de ellos así como tampoco en la comparación entre los dos tipos de entrenamiento, la tendencia al incremento significativo fue mayor en parte distal del músculo.

Friedmann *et al.*, (2004) utilizaron la IRM donde hicieron tres cortes (a 10, 15 y 20 cm del pubis) encontraron un incremento significativo (promedio de 2%) para los tres cortes. Fernández-Gonzalo *et al.*, (2014) emplearon el DXA con tres cortes (uno a la mitad del fémur y los otros dos a 5 cm abajo y arriba del primero) encontraron que los tres incrementaron significativamente. Higbie *et al.*, (1996) usaron IRM con siete cortes (20, 30, 40, 50, 60 y 70% de la longitud del fémur) y un grosor de 5 mm, encontraron diferencia significativa en el incremento de la masa para todos los cortes, tanto para los que entrenaron excéntricamente como concéntricamente. En cuanto a la comparación entre grupos hubo diferencia significativa en 4 cortes a (40, 50, 60 y 70%). Blazevich *et al.*, (2007b) hicieron cinco cortes de los músculos del cuádriceps (desde el borde superior de la rótula hasta la espina iliaca anteroposterior) no encontraron cambios de la masa muscular después de cinco semanas de entrenamiento unilateral isocinético máximo.

8.2.2. Fuerza muscular. Aunque se esperaría que la fuerza muscular fuera mayor con el entrenamiento EXC que el CON debido a que hubo un incremento significativo de la masa muscular del muslo de la pierna que entrenó excéntricamente no resultó así, ya que si bien ambos tipos de entrenamiento incrementaron significativamente (EXC 15% y CON 11%), la fuerza muscular no presentó diferencia significativa cuando se les comparó entre sí. Resultados similares a nuestro estudio obtuvieron Vikne *et al.*, (2006) cuando en su estudio, a pesar de haber incrementado significativamente la masa muscular del miembro entrenado excéntricamente, no encontraron diferencia en la fuerza máxima en los dos tipos de entrenamiento.

Johnson (1972) llevó a cabo un estudio con nueve sujetos en la que usaron una máquina de extensión de piernas, con una subían el peso y con la otra lo bajaban (trabajo CON y EXC respectivamente), ambos grupos de entrenamiento ganaron significativamente la fuerza muscular, aunque no hubo diferencia significativa cuando se compararon los dos tipos de entrenamiento.

Mont *et al.*, (1994) llevaron a cabo un estudio con jugadores de tenis, la duración del programa de entrenamiento fue de seis semanas, compararon el entrenamiento EXC y CON y sus efectos sobre la fuerza muscular. Al finalizar el programa encontraron que tanto el entrenamiento EXC como el CON incrementaron la fuerza muscular en la misma proporción (11%), en este caso el entrenamiento se hizo en una máquina isocinética. En su estudio Moore *et al.*, (2012) reportan un incremento del 8% de diferencia de fuerza producida por el entrenamiento EXC y CON, sin embargo, la diferencia no llegó a ser significativa.

Mayhew *et al.*, (1995) encontraron diferencia significativa cuando compararon el efecto del entrenamiento EXC y CON sobre la fuerza isométrica de las piernas entrenadas, siendo mayor para este último tipo de entrenamiento. Resultados en esa misma línea reportan Raue *et al.*, (2005), quienes en su estudio hallaron que únicamente con el entrenamiento CON incrementaba significativamente la fuerza muscular (17% vs 7% del entrenamiento EXC). Por su parte De Carvalho Nogueira *et al.*, (2011) compararon el efecto del entrenamiento EXC y CON sobre la fuerza muscular en dos tipos de ejercicios, *curl* de brazos y *press* de banco, después de ocho semanas de entrenamiento tanto los que entrenaron EXC como concéntricamente incrementaron significativamente la fuerza en ambos ejercicios, para el *curl* el incremento fue de 13,7% y 28,4% para el entrenamiento EXC y CON respectivamente, mientras que para el *press* fue de 28,4% y 32,1%. Cuando compararon los dos tipos de entrenamiento solo el *curl* presento diferencia significativa.

Los participantes del estudio de Cadore *et al.*, (2014) incrementaron significativamente el torque pico de la pierna que entrenó excéntricamente (17,2 ± 11,6%). Para los que entrenaron concéntricamente su incremento (5,6 ±

15,7%) no fue significativo. En el de Hortobagyi *et al.*, (1997) se evaluó la fuerza isométrica incrementando casi el doble con el entrenamiento EXC (39%) en comparación con el CON (22%). Miller *et al.*, (2006) observaron cómo los sujetos de su estudio que entrenaban excéntricamente incrementaban tanto la fuerza EXC como CON comparados con los que tuvieron entrenamiento CON.

El efecto del entrenamiento EXC y CON sobre la fuerza es más específico que general como lo han demostrado diversos estudios, entre los que encontramos a Hortobagyi *et al.*, (2000) que mencionan que en su estudio el entrenamiento EXC incremento la fuerza EXC mientras el CON incrementó la fuerza CON. Duncan *et al.*, (1989) llevaron a cabo un estudio de 6 semanas de entrenamiento excéntrico y concéntrico y su efecto sobre la fuerza muscular y vieron que el entrenamiento EXC mejoraba la fuerza EXC y el entrenamiento CON la fuerza CON. Tomberlin *et al.*, (1991) concluyen en su estudio que los efectos tanto del entrenamiento excéntrico como concéntrico es específico ya que obtuvieron resultados donde el entrenamiento EXC incrementó (20,0%) significativamente la fuerza EXC mientras que el entrenamiento CON incrementó (8,2%) la fuerza CON. Higbie *et al.*, (1996) reportan resultados en la misma línea, incremento (34%) del entrenamiento EXC en la fuerza excéntrica y un 14,4% del entrenamiento CON para la fuerza CON. Seger *et al.*, (1998) tuvieron resultados similares a los antes mencionados, 34% de incremento de la fuerza EXC para el entrenamiento EXC y 15,4% para la CON para el entrenamiento CON. Seger y Thorsterson (2005) también encontraron que el entrenamiento excéntrico incrementa la fuerza EXC mientras que el entrenamiento CON incrementa la fuerza CON.

De acuerdo (Vikne *et al.*, 2006) un incremento de la masa muscular debería conducir a un incremento de la fuerza, sin embargo, en nuestro estudio no hubo un incremento de la fuerza en proporción al grado de hipertrofia ya que si bien hubo incremento significativo de la fuerza muscular con ambos tipos de entrenamiento no lo hubo cuando se compararon los dos tipos de entrenamiento. Por los que existen diversos factores que pudieron influir en dichos resultados. En primer lugar que el incremento de la fuerza muscular depende en las primeras semanas principalmente del sistema nervioso

(Moritani y deVries, 1979). El segundo factor el efecto cruzado del entrenamiento, el cual es mayor con el entrenamiento EXC (Hortobágyi *et al.*, 1997) por lo que pudieron haber sido beneficiadas en mayor medida las extremidades que entrenaron concéntricamente. Por último la especificidad del entrenamiento CON y EXC, ya que en nuestro caso medimos únicamente la fuerza máxima CON lo cual pudo haber sido un motivo más para que no hubiera diferencia significativa en la comparación de los dos tipos de entrenamiento, aun así la fuerza fue mayor con el entrenamiento EXC que con el entrenamiento CON.

8.2.3. Potencia muscular. Aagaard (2010) menciona que a mayores ganancias de fuerza muscular se esperaría que la potencia muscular se incrementase debido a que está constituida por el producto de la fuerza muscular instantánea y la velocidad de acortamiento muscular. En nuestro estudio hubo incremento significativo de la potencia muscular con el entrenamiento EXC a cargas del 30, 60 y 70% de la 1-RM mientras que para el entrenamiento CON fue en las cargas del 40 y 70% y cuando se compararon los tipos de entrenamiento solo hubo diferencia significativa al 60% de 1-RM. A diferencia de Fernández-Gonzalo *et al.*, (2014) en nuestro estudio sí hubo incremento de la potencia con cargas bajas (EXC 30% y CON 40%), sin embargo, también hubo incremento con cargas altas (EXC 60 y 70% CON 70%) aunque en su estudio el trabajo fue con las acciones EXC y CON acopladas. Por razones no conocidas nuestros sujetos tuvieron respuestas contradictorias de la potencia muscular tanto al entrenamiento EXC como CON. Aunque es difícil comparar nuestros resultados a otros ya que a nuestro entender éste es el primero que compara el efecto de estos dos tipos de entrenamiento sobre la potencia muscular. Sin embargo, el uso del sistema de volante inercial en el entrenamiento ha mostrado ser efectivo en el incremento de la potencia (Fernandez-Gonzalo *et al.*, 2014). Rittweger *et al.*, (2007) llevaron a cabo un estudio donde usaron este sistema para el entrenamiento con jóvenes y encontraron que el uso de este dispositivo incrementaba significativamente la potencia muscular medida con el salto vertical.

Elmer *et al.*, (2012) realizaron un estudio donde compararon el efecto del entrenamiento en un cicloergómetro excéntrico y uno concéntrico sobre la potencia muscular, dicho entrenamiento duró 7 semanas entrenando 3 veces por semana. La potencia fue medida con el salto con contramovimiento en una plataforma de fuerza. Los sujetos (6) que entrenaron excéntricamente incrementaron un $7 \pm 2\%$ la potencia pico mientras los que entrenaron concéntricamente vieron reducida su potencia un $2 \pm 3\%$. Por su parte Gross *et al.*, (2010), encontraron que el salto con contramovimiento se incrementaba significativamente (un 6,5%) en los sujetos que usaron un cicloergómetro excéntrico en su entrenamiento, en comparación con un aumento de solo un 3,1% de los que no lo usaron. Dicho estudio fue llevado a cabo con jóvenes practicantes de esquí alpino, la duración del entrenamiento fue de 6 semanas. Resultados que difieren con los nuestros en la magnitud ya que nuestros sujetos incrementaron la potencia más de doble, tanto los que entrenaron excéntricamente (17,2%) como los que lo hicieron concéntricamente (7,7%).

Si bien no encontramos un estudio donde comparen expresamente el entrenamiento EXC y CON y su efecto sobre la potencia muscular, lo que hemos podido observar es la importancia de la fase EXC durante el entrenamiento para su desarrollo como se puede ver en los resultados reportados por Cook *et al.*, (2013) donde llevaron a cabo un estudio donde compararon cuatro tipos de entrenamiento; tradicional, EXC y la combinación de estos con ejercicios de velocidad hallaron que el entrenamiento de velocidad con el EXC incrementaba significativamente el salto con contramovimiento como medida de la potencia.

8.3. Comparación de las respuestas al entrenamiento entre sexos

Es bien sabido que el hombre posee mayor masa muscular y fuerza absoluta que las mujeres, de hecho la fuerza general de la mujer es un 63,5% de la del hombre (Laubach, 1976). En nuestro estudio la fuerza inicial de las mujeres fue ~ 66% de la de los hombres, tanto en la pierna que entrenó excéntricamente como en la que lo hizo concéntricamente, en cuanto a la masa magra de los

muslos de las mujeres fue ~ 61% de la del hombre. Bishop *et al.*, (1987) encontraron que tanto la sección transversal como la fuerza de los músculos de los brazos y piernas eran significativamente mayor en los hombres en comparación con las mujeres, en un grupo de no atletas y otro de nadadores. Kaneshia *et al.*, (1994) reportan que en su estudio la masa de la masa muscular del muslo de la mujer era un 82% de la del hombre.

La potencia de la pierna de las mujeres que entrenaron excéntricamente fue un 51% de los hombres, la que entrenó concéntricamente fue un 55%, mientras Mayhew y Salm (1990) reportan que en su estudio la potencia, medida en salto vertical, de las mujeres era un 66% de la de los hombres. Davies *et al.*, (1988) reportaron que la potencia de la mujer fue el 63% de la del hombre, medida con el salto horizontal.

De acuerdo con Hubal *et al.*, (2005) el género tiene un gran efecto en la morfología y la función muscular. Los hombres tienen mayor masa y fuerza muscular que las mujeres, debido a que tienen mayor tamaño corporal y a los niveles más altos de hormonas anabólicas. Por lo que los hombres tienen mayor capacidad hipertrófica (Martel *et al.*, 2006)

En lo referente a la respuesta al entrenamiento en función del género, en nuestro estudio, cuando se compararon los incrementos absolutos de las variables en ninguna hubo diferencia significativa, por lo que la respuesta fue similar en hombres y mujeres. Aunque la mujer tiene menos fuerza y las miofibrillas más pequeñas que los hombres, los incrementos relativos en fuerza y tamaño de la fibra muscular producidos por el entrenamiento con resistencia son similares si el estímulo de ejercicio es el mismo (Deschenes y Kraemer, 2002). En lo que se refiere a la masa muscular nuestros resultados son diferentes a los reportados por Cureton *et al.*, (1988) ya que sus sujetos presentaron diferencia significativa en los valores absolutos mientras que en el incremento relativo no hubo diferencia.

Staron *et al.*, (1994) llevaron a cabo un estudio con ocho semanas de duración y de entrenamiento con resistencias para ver las adaptaciones en mujeres y hombres y encontraron que tales adaptaciones que contribuyen a la ganancia

de fuerza eran similares. Sin embargo O'Hagan *et al.*, (1995) encontraron que los incrementos tanto absolutos como relativos de la sección transversal del bíceps eran similares en mujeres y hombres, no así para la fuerza ya que los incrementos relativos eran mayores en las mujeres. Abe *et al.*, (2000) vieron que el incremento de la fuerza y la masa muscular era similar entre mujeres y hombres. Kell (2011) comparó los efectos del entrenamiento periodizado sobre la fuerza muscular y encontraron que tanto las ganancias absolutas como relativas en hombres y mujeres eran similares. Por su parte Fernández-Gonzalo *et al.*, (2014) encontraron que los hombres que entrenaron con sobrecarga excéntrica incrementaban, aunque ligeramente, en mayor medida la fuerza que las mujeres medida con 1-RM. En nuestro estudio las mujeres incrementaron la masa muscular con ambos tipos de entrenamiento mientras que los hombres lo hicieron solo con el entrenamiento excéntrico.

Existen pocos estudios donde comparan las respuestas de la fuerza, y potencia muscular al entrenamiento excéntrico entre mujeres y hombres, entre ellos podemos encontrar a. Sewright *et al.*, (2008) en el cual compararon la respuesta de la fuerza a las acciones EXC y vieron que las mujeres perdían más fuerza que los hombres después de haber realizado 50 acciones excéntricas. Por su parte Hubal *et al.*, (2008) encontraron que las capacidades relativas para la función muscular sobre el tiempo, después de una sesión de entrenamiento EXC, eran similares entre mujeres y hombres. Tanto los hombres como las mujeres participantes en nuestro estudio incrementaron la fuerza muscular tanto con el entrenamiento excéntrico como con el concéntrico.

En su estudio Fernández-Gonzalo *et al.*, (2014) además de la masa y fuerza muscular evaluaron la respuesta de la potencia después de un entrenamiento con sobrecarga EXC, el estudio tuvo una duración de seis semanas. Sus resultados indican que con el tipo de entrenamiento implementado por ellos las mejoras de la potencia eran similares entre hombres y mujeres a excepción cuando fue evaluada con una carga correspondiente al 80% de la 1-RM donde los hombres presentaron mayor ganancia. Si bien en nuestro estudio no evaluamos con cargas correspondientes al 80% de la 1-RM los hombres participantes en nuestro estudio incrementaron la potencia evaluada con

cargas correspondientes al 70% tanto con el entrenamiento concéntrico como excéntrico mientras en las mujeres solo incremento con el entrenamiento excéntrico.

9. CONCLUSIONES

Después de haber analizado los datos del presente estudio, realizando entrenamiento diferenciado lateral excéntrico y concéntrico en la máquina Yo-Yo® durante ocho semanas y con el protocolo por nosotros realizado, podemos concluir que:

1º: Existe simetría morfológica y funcional entre la extremidad inferior dominante y la no dominante, tanto en lo referente a la masa muscular, como a la fuerza máxima o a la potencia muscular.

2º: El entrenamiento concéntrico en el dispositivo YoYo® produce hipertrofia muscular en las mujeres pero no en los varones, a pesar de que produce tanto en varones como en mujeres ganancias de la fuerza máxima pero no en general de la potencia muscular.

3º: El entrenamiento excéntrico en dispositivo YoYo®, produce en ocho semanas, hipertrofia muscular tanto en hombres como en mujeres, al igual que en la fuerza máxima. Sin embargo, la mejora que produce en la potencia muscular es más clara en los varones.

4º: Cuando se analiza el grado de cambio provocado por el entrenamiento excéntrico frente al concéntrico en este tipo de dispositivo, se observa que en las mujeres el entrenamiento excéntrico es el único capaz de provocar hipertrofia en las mujeres. Y que la mejora en la potencia muscular también es superior tras el entrenamiento excéntrico.

5º: Los entrenamientos unilaterales concéntrico y excéntrico, son seguros dado que no producen lesiones osteomusculares aparentes.

10. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Si bien el modelo utilizado en el presente estudio nos permitió minimizar el efecto de diversas variables que pudieran incidir en los resultados, es un hecho que no podemos asegurar que tales efectos desaparecieron por completo, por lo que consideramos existieron ciertas limitaciones en nuestra investigación, por lo que a continuación las mencionaremos y también propondremos futuras líneas de investigación:

2º: Aunque la duración del programa al parecer fue suficiente para estimular el desarrollo de la masa y fuerza muscular, creemos que tanto la ampliación en número de semanas como en número de repeticiones por serie pudiera maximizar dichos efectos.

3º El uso de solo dos subgrupos de trabajo no nos permitió determinar el posible efecto cruzado por lo que sugerimos incluir un grupo que trabaje con una pierna excéntricamente y la otra le sirva de control, otro grupo que trabaje con una pierna concéntricamente y la otra le sirva como control y un tercer grupo control, esto con el fin de determinar el efecto cruzado del entrenamiento excéntrico y del concéntrico.

4º Debido a que no existió control sobre la ingesta de alimentos y dado que la gran mayoría de los participantes en el estudio eran de ciudades diferentes a donde se realizó la investigación, consideramos que en un próximo estudio se le debe de proporcionar por lo menos 10 gr de proteína a cada sujeto después del entrenamiento, esto con el fin de ayudar a cubrir las necesidades básicas para síntesis de proteína muscular.

5º En el presente estudio no nos fue posible medir el dolor muscular provocado por la acciones EXC y CON, ya que éste fue causado durante la evaluación inicial de la fuerza máxima, una semana antes del inicio del entrenamiento, por lo que se sugiere que para un próximo estudio haya por lo menos dos semanas de distancia entre las evaluaciones y el inicio del programa de entrenamiento.

LIMITACIONES DEL ESTUDIOS Y
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

11. REFERENCIAS

- AAGAARD, P. 2010. The Use of Eccentric Strength Training to Enhance Maximal Muscle Strength, Explosive Force (RDF) and Muscular Power - Consequences for Athletic Performance. *Open Sports Sci J*, 3, 52-55.
- AAGAARD, P., SIMONSEN, E. B., ANDERSEN, J. L., MAGNUSSON, S. P., HALKJÆR-KRISTENSEN, J. & DYHRE-POULSEN, P. 2000. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol*, 89(6), 2249-2257.
- ABADIE, B. R. & WENTWORTH, M. C. 2000. Prediction of one repetition maximal strength from a 5-10 repetition submaximal strength test in college-aged females. *J Exerc Physiol Online*, 3(3), 1-6.
- ABBOTT, B. C. & BIGLAND, B. 1953. The effects of force and speed changes on the rate of oxygen consumption during negative work. *J Physiol*, 120(3), 319-25.
- ABBOTT, B. C., BIGLAND, B. & RITCHIE, J. M. 1952. The physiological cost of negative work. *J Physiol*, 117(3), 380-90.
- 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), 174-80.
- ABOODARDA, S. J., YUSOF, A., ABU OSMAN, N. A., THOMPSON, M. W. & MOKHTAR, A. H. 2013. Enhanced performance with elastic resistance during the eccentric phase of a countermovement jump. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(2), 181-7.
- ADAMS, G. R., CHENG, D. C., HADDAD, F. & BALDWIN, K. M. 2004. Skeletal muscle hypertrophy in response to isometric, lengthening, and shortening training bouts of equivalent duration. *J Appl Physiol*, 96(5), 1613-8.

- ADAMSON, M., MACQUAIDE, N., HELGERUD, J., HOFF, J. & KEMI, O. J. 2008. Unilateral arm strength training improves contralateral peak force and rate of force development. *Eur J Appl Physiol*, 103(5), 553-9.
- ALCARAZ, P. E., ROMERO-ARENAS, S., VILA, H. & FERRAGUT, C. 2011. Power-load curved intrained sprinters. *J Strength Cond Res*, 25(11), 3045-3050.
- ALFREDSON, H., PIETILÄ, T., JONSSON, P. & LORENTZON, R. 1998. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med*, 26(3), 360-6.
- ALKNER, B. A., BERG, H. E., KOZLOVSKAYA, I., SAYENKO, D. & TESCH, P. A. 2003. Effects of strength training, using a gravity-independent exercise system, performed during 110 days of simulated space station confinement. *Eur J Appl Physiol*, 90, 44-9.
- ALKNER, B. A. & TESCH, P. A. 2004. Efficacy of a gravity-independent resistance exercise device as a countermeasure to muscle atrophy during 29-day bed rest. *Acta Physiol Scand*, 181(3), 345-57.
- ALMEIDA, G. P., CARNEIRO, K. K., DE MORAIS, H. C. & B., D. O. J. 2012. Effects of unilateral dominance of the lower limbs on flexibility and isokinetic performance in healthy females. *Fisioter Mov.*, 25(3), 551-559.
- ANDERSON, C. E., SFORZO, G. A. & SIGG, J. A. 2008. The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *J Strength Cond Res*, 22(2), 567-74.
- ARGUS, C. K., GILL, N. D. & L. KEOGH, J. W. 2012. Characterization of the differences in strength and power between different levels of competition in rugby union athletes. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2698-2704.
- ARMSTRONG, R. B. 1984. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*, 16(6), 529-38.

- ARMSTRONG, R. B., OGILVIE, R. W. & SCHWANE, J. A. 1983. Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 54(1), 80-93.
- ASKLING, C., KARLSSON, J. & THORSTENSSON, A. 2003. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*, 13(4), 244-50.
- ASMUSSEN, E. 1953. Positive and negative muscular work. *Acta Physiol Scand*, 28(4), 364-82.
- BABAULT, N., POUSSON, M., BALLAY, Y. & VAN HOECKE, J. 2001. Activation of human quadriceps femoris during isometric, concentric, and eccentric contractions. *J Appl Physiol*, 91(6), 2628-34.
- BAECHLE, T. R. & EARLE, R. W. 2008. *Essentials of strength training and conditioning*, Champaign, Il., Human Kinetics.
- BAKER, D., NANCE, S. & MOORE, M. 2001. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *J Strength Cond Res*, 15(1), 92-97.
- BARSTOW, I. K., BISHOP, M. D. & KAMINSKI, T. W. 2003. Is enhanced-eccentric resistance training superior to traditional training for increasing elbow flexor strength? *J Sports Science Med*, (2), 62-69.
- BELTMAN, J. G., SARGEANT, A. J., VAN MECHELEN, W. & DE HAAN, A. 2004a. Voluntary activation level and muscle fiber recruitment of human quadriceps during lengthening contractions. *J Appl Physiol* (1985), 97(2), 619-26.
- BELTMAN, J. G., VAN DER VLIET, M. R., SARGEANT, A. J. & DE HAAN, A. 2004b. Metabolic cost of lengthening, isometric and shortening contractions in maximally stimulated rat skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 182(2), 179-87.

- BEN-SIRA, D., AYALON, A. & TAVI, M. 1995. The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *J Strength Cond Res*, 9(3), 143-148.
- BERA, S. P., MURAY, D. P., BROWN, L. E. & BRIAN, W. F. 2007. Types of Strength and Power Exercises. In: BROWN, L. E. (ed.) *Strength Training*. Human Kinetics.
- BERG, H. E. & TESCH, A. 1994. A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviat Space Environ Med*, 65(8), 752-6.
- BIGLAND-RITCHIE, B. & WOODS, J. J. 1976. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol*, 260(2), 267-77.
- BISHOP, P., CURETON, K. & COLLINS, M. 1987. Sex difference in muscular strength in equally-trained men and women. *Ergonomics*, 30(4), 675-87.
- BLAZEVICH, A. J., CANNAVAN, D., COLEMAN, D. R. & HORNE, S. 2007a. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol*, 103(5), 1565-75.
- BLAZEVICH, A. J., GILL, N. D., DEANS, N. & ZHOU, S. 2007b. Lack of human muscle architectural adaptation after short-term strength training. *Muscle Nerve*, 35(1), 78-86.
- BOBBERT, M. F. & CASIUS, L. J. 2005. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med Sci Sports Exerc*, 37(39), 440-6.
- BOBBERT, M. F., HOLLANDER, A. P. & HUIJING, P. A. 1986. Factors in delayed onset muscular soreness of man. *Med Sci Sports Exerc*, 18(19), 75-81.

- BOSCO, C., LUHTANEN, P. & KOMI, P. V. 1983. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50(2), 273-82.
- BOSQUET, L., PORTA-BENACHE, J. & BLAIS, J. 2010. Validity of a commercial linear encoder to estimate bench press 1 RM from the force-velocity relationship. *J Sports Sci Med*, 9(3), 459-463.
- BRANDENBURG, J. P. & DOCHERTY, D. 2002. The effects of accentuated eccentric loading on strength, muscle hypertrophy, and neural adaptations in trained individuals. *J Strength Cond Res*, 16(1), 25-32.
- BROOKS, G. A., THOMAS, D. F. & KENNETH, M. B. 2004. *Exercise Physiology. Human bioenergetics and its applications*, New York, McGraw Hill.
- BROWN, L. E. 2000. *Isokinetics in Human Performance*, Human Kinetics.
- BROWN, L. E. & WEIR, J. P. 2001. ASEP Procedures recommendation I: accurate assesment of muscular strength and power. *J Exercise Physiol Online*, 4(3), 1-21.
- BRZENCZEK-OWCZARZAK, W., NACZK, M., ARLET, J., FORJASZ, J., JEDRZEJCZAK, T. & ADACH, Z. 2013. Estimation of the efficacy of inertial training in older women. *J Aging Phys Act*, 21(4), 433-43.
- BUBBICO, A. & KRAVITZ, L. 2010. ECCENTRIC EXERCISE: A comprehensive review of a distinctive training method. *IDEA Fitness Journal*, 7(9), 50-59.
- CADORE, E. L., GONZÁLEZ-IZAL, M., PALLARÉS, J. G., RODRIGUEZ-FALCES, J., HÄKKINEN, K., KRAEMER, W. J., PINTO, R. S. & IZQUIERDO, M. 2014. Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training. *Scand J Med Sci Sports*, 24(5), e343-e352

- CANAVAN, P. K. & VESCOVI, J. D. 2004. Evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Med Sci Sports Exerc*, 36(9), 1589-93.
- CARUSO, J. F., MONDA, J. K., RAMEY, E., HASTINGS, L. P., CODAY, M. A., MCLAGAN, J. R. & WICKEL, E. E. 2009. Blood lactate responses to exercise performed on a high-speed inertial device. *Isokinet Exerc Sci*, 17(1), 1-7.
- CAVANAGH, P. R. 1988. On "muscle action" or "muscle contraction". *Biomechanics*, 21(1), 69.
- CHEN, Z., WANG, Z., LOHMAN, T., HEYMSFIELD, S. B., OUTWATER, E., NICHOLAS, J. S., BASSFORD, T., LACROIX, A., SHERRILL, D., PUNYANITYA, M., WU, G. & GOING, S. 2007. Dual-energy X-ray absorptiometry is a valid tool for assessing skeletal muscle mass in older women. *J Nutr*, 137(12), 2775-80.
- CHEUNG, K., HUME, P. & MAXWELL, L. 2003. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med*, 33(2), 145-64.
- CHHIBBER, S. R. & SINGH, I. 1970. Asymmetry in muscle weight and one-sided dominance in the human lower limbs. *J. Anat.*, 106(3), 553-556.
- CHIU, L. Z. F., SCHILLING, B. K., FRY, A. C. & WEISS, L. W. 2004. Measurement of Resistance Exercise Force Expression. *J Appl Biomech*, 20(2), 204-212.
- COMSTOCK, B. A., SOLOMON-HILL, G., FLANAGAN, S. D., EARP, J. E., LUK, H. Y., DOBBINS, K. A., DUNN-LEWIS, C., FRAGALA, M. S., HO, J. Y., HATFIELD, D. L., VINGREN, J. L., DENEGAR, C. R., VOLEK, J. S., KUPCHAK, B. R., MARESH, C. M. & KRAEMER, W. J. 2011. Validity of the Myotest® in measuring force and power production in the squat and bench press. *J Strength Cond Res*, 25(8), 2293-7.

- COOK, C. J., BEAVEN, C. M. & KILDUFF, L. P. 2013. Thres weeks of eccentric training combined with overspeed exercises enhaces power and running speed performance gains in trained athletes. *J Strength Cond Res*, 27(5), 1280-1286.
- CORMIE, P., DEANE, R. & MCBRIDE, J. M. 2007. Methodological concerns for determining power output in the jump squat. *J Strength Cond Res*, 21(2), 424-430.
- CORMIE, P., MCGUIGAN, M. R. & NEWTON, R. U. 2010. Changes in the Eccentric Phase Contribute to Improved Stretch — Shorten Cycle Performance after Training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(9), 1731-1744.
- COWELL, J. F., CRONIN, J. & BRUGHELLI, M. 2012. Eccentric Muscle Actions and How the Strength and Conditioning Specialist Might Use Them for a Variety of Purposes. *Strength Cond J (Lippincott Williams & Wilkins)*, 34(3), 33-48.
- CURETON, K. J., COLLINS, M. A., HILL, D. W. & MCELHANNON, F. M. 1988. Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 20(4), 338-44.
- DAVIES, B. N., GREENWOOD, E. J. & JONES, S. R. 1988. Gender difference in the relationship of performance in the handgrip and standing long jump tests to lean limb volume in young adults. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 58(3), 315-20.
- DAYNE, A. M., MCBRIDE, J. M., NUZZO, J. L., TRIPLETT, N. T., SKINNER, J. & BURR, A. 2011. Power output in the jump squat in adolescent male athletes. *J Strength Cond Res*, 25(3), 585-589.
- DE CARVALHO NOGUEIRA, A., DE SOUZA VALE, R. G., COLADO, J. C., TELLA, V., GARCIA-MASSO, X. & DANTAS, E. H. M. 2011. The Effects Of Muscle Actions Upon Strength Gains. *Human Movement*, 12(4), 331-336.

- DEAN, E. 1988. Physiology and therapeutic implications of negative work. A review. *Phys Ther*, 68(2), 233-7.
- DEMURA, S., YAMAJI, S., GOSHI, F. & NAGASAWA, Y. 2001. Lateral dominance of legs in maximal muscle power, muscular endurance, and grading ability. / Dominance laterale des jambes dans un exercice d ' endurance et de force musculaire et capacite a mesurer sa propre force. *Percept Mot Skills*, 93(1), 11-23.
- DESCHENES, M. R. & KRAEMER, W. J. 2002. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil*, 81(11 suppl), S3-16.
- DIETRICH, M., CARL, K. & LEHNERTZ, K. 2001. Manual de metodología del entrenamiento deportivo, Barcelona, España, Ed. Paidotribo.
- DOAN, B. K., NEWTON, R. U., MARSIT, J. L., TRIPLETT-MCBRIDE, N. T., KOZIRIS, L. P., FRY, A. C. & KRAEMER, W. J. 2002. Effects of increased eccentric loading on bench press 1RM. *J Strength Cond Res*, 16(1), 9-13.
- DOHONEY, P., CHROMIAK, J. A., LEMIRE, D., ABADIE, B. R. & KOVACS, C. 2002. Prediction of one repetition maximum (1-RM) strength from a 4-6 RM and a 7-10 RM submaximal strength test in healthy young adult males. *J Exerc Physiol Online*, 5(3), 148-155.
- DORADO, C., SANCHIS MOYSI, J., VICENTE, G., SERRANO, J. A., RODRÍGUEZ, L. R. & CALBET, J. A. 2002. Bone mass, bone mineral density and muscle mass in professional golfers. *J Sports Sci*, 20(8), 591-7.
- DOS SANTOS ROCHA, C. S., BARONI, B. M., LANFERDINI, F. J., DE LA ROCHA FREITAS, C., FRASSON, V. B. & VAZ, M. A. 2011. Specificity of strength gains after 12 weeks of isokinetic eccentric training in healthy men. *Isokinet Exerc Sci*, 19(3), 221-226.

- DRURY, D. G., STUEMPFLE, K. J., MASON, C. W. & GIRMAN, J. C. 2006. The effects of isokinetic contraction velocity on concentric and eccentric strength of the biceps brachii. *J Strength Cond Res*, 20(2), 390-5.
- DUCHATEAU, J. & ENOKA, R. M. 2008. Neural control of shortening and lengthening contractions: influence of task constraints. *J Physiol*, 586(24), 5853-64.
- 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(2), 543-50.
- DUGAN, E. L., DOYLE, T. L., HUMPHRIES, B., HASSON, C. J. & NEWTON, R. U. 2004. Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. *J Strength Cond Res*, 18(3), 668-74.
- DUNCAN, P. W., CHANDLER, J. M., CAVANAUGH, D. K., JOHNSON, K. R. & BUEHLER, A. G. 1989. Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training. *J Orthop Sports Phys Ther*, 11(2), 70-5.
- EDWARDS, S., STEELE, J. R., COOK, J. L., PURDAM, C. R. & MCGHEE, D. E. 2012. Lower Limb Movement Symmetry Cannot Be Assumed When Investigating the Stop-Jump Landing. *Med Sci Sports Exerc*, 44(6), 1123-1130.
- EHLERS BOTTON, C. & SILVEIRA PINTO, R. 2012. Déficit bilateral: origem, mecanismos e implicações para o treino de força. / Bilateral deficit: origins, mechanisms, and implications for strength training. *Braz J Kineanthropom Human Performance*, 14(6), 749-761.
- ELIA, M., FULLER, N. J., HARDINGHAM, C. R., GRAVES, M., SCREATON, N., DIXON, A. K. & WARD, L. C. 2000. Modeling leg sections by bioelectrical impedance analysis, dual-energy X-ray absorptiometry, and anthropometry: assessing segmental muscle volume using magnetic resonance imaging as a reference. *Ann N Y Acad Sci*, 904, 298-305.

- ELMER, S., HAHN, S., MCALLISTER, P., LEONG, C. & MARTIN, J. 2012. Improvements in multi-joint leg function following chronic eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*, 22(5), 653-61.
- ELMER, S. J., DANVIND, J. & HOLMBERG, H. C. 2013. Development of a Novel Eccentric Arm Cycle Ergometer for Training the Upper Body. *Med Sci Sports Exerc*, 45(1), 206-211.
- ENOKA, R. M. 1996. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol*, 81(6), 2339-46.
- FANG, Y., SIEMIONOW, V., SAHGAL, V., XIONG, F. & YUE, G. H. 2001. Greater movement-related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *J Neurophysiol*, 86(4), 1764-72.
- FANG, Y., SIEMIONOW, V., SAHGAL, V., XIONG, F. & YUE, G. H. 2004. Distinct brain activation patterns for human maximal voluntary eccentric and concentric muscle actions. *Brain Res*, 1023(2), 200-12.
- FARTHING, J. P. 2009. Cross-Education of Strength Depends on Limb Dominance: Implications for Theory and Application. *Exerc Sport Sci Rev*, 37(4), 179-187.
- FARTHING, J. P. & CHILIBECK, P. D. 2003. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *Eur J Appl Physiol*, 89(6), 578-86.
- FAULKNER, J. A. 2003. Terminology for contractions of muscles during shortening, while isometric, and during lengthening. *J Appl Physiol*, 95(2), 455-9.
- FAUTH, M. L., GARCEAU, L. R., WURM, B. J. & EBBEN, W. P. 2010. Eccentric Muscle Actions Poduce 36% to 154% Less Activation Than Concentric Muscle Actions. *International Symposium on Biomechanics in Sports: Conference Proceedings Archive*, 28, 1-4.

- FERNANDEZ-GONZALO, R., BRESCIANI, G., SOUZA-TEIXEIRA, F. D., HERNANDEZ-MURUA, J. A., JIMENEZ-JIMENEZ, R., GONZALEZ-GALLEGO, J. & DE PAZ, J. A. 2011. Effects of a 4-week eccentric training program on the repeated bout effect in young active women. *J Sports Sci Med*, 10(4), 692-699.
- FERNANDEZ-GONZALO, R., LUNDBERG, T. R., ALVAREZ-ALVAREZ, L. & DE PAZ, J. A. 2014. Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *Eur J Appl Physiol*, 114(5), 1075-84.
- FLANN, K. L., LASTAYO, P. C., MCCLAIN, D. A., HAZEL, M. & LINDSTEDT, S. L. 2011. Muscle damage and muscle remodeling: no pain, no gain? *J Exp Biol. England*, 214, 674-679.
- FOLLAND, J. P., IRISH, C. S., ROBERTS, J. C., TARR, J. E. & JONES, D. A. 2002. Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. *Br J Sports Med*, 36(5), 370-3; discussion 374.
- FRIDÉN, J., SJÖSTRÖM, M. & EKBLÖM, B. 1981. A morphological study of delayed muscle soreness. *Experientia*, 37(5), 506-7.
- FRIEDMANN, B., KINSCHERF, R., VORWALD, S., MÜLLER, H., KUCERA, K., BORISCH, S., RICHTER, G., BÄRTSCH, P. & BILLETER, R. 2004. Muscular adaptations to computer-guided strength training with eccentric overload. *Acta Physiol Scand*, 182(1), 77-88.
- FRIEDMANN-BETTE, B., BAUER, T., KINSCHERF, R., VORWALD, S., KLUTE, K., BISCHOFF, D., MÜLLER, H., WEBER, M.-A., METZ, J., KAUCZOR, H.-U., BÄRTSCH, P. & BILLETER, R. 2010. Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *European J Appl Physiol*, 108(4), 821-836.
- FROHM, A., HALVORSEN, K. & THORSTENSSON, A. 2005. A new device for controlled eccentric overloading in training and rehabilitation. *Eur J Appl Physiol*, 94(1-2), 168-74.

- GABBE, B. J., BRANSON, R. & BENNELL, K. L. 2006. A pilot randomised controlled trial of eccentric exercise to prevent hamstring injuries in community-level Australian Football. *J Sci Med Sport*, 9(1-2), 103-9.
- GALLAGHER, P., TRAPPE, S., HARBER, M., CREER, A., MAZZETTI, S., TRAPPE, T., ALKNER, B. & TESCH, P. 2005. Effects of 84-days of bedrest and resistance training on single muscle fibre myosin heavy chain distribution in human vastus lateralis and soleus muscles. *Acta Physiol Scand*, 185(1), 61-9.
- GARCIA-LOPEZ, D., CUEVAS, M. J., ALMAR, M., LIMA, E., DE PAZ, J. A. & GONZALEZ-GALLEGO, J. 2007. Effects of eccentric exercise on NF-kappaB activation in blood mononuclear cells. *Med Sci Sports Exerc*, 39(4), 653-64.
- GERBER, J. P., MARCUS, R. L., DIBBLE, L. E., GREIS, P. E., BURKS, R. T. & LASTAYO, P. C. 2007. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*, 89(3), 559-70.
- GILLIES, E. M., PUTMAN, C. T. & BELL, G. J. 2006. The effect of varying the time of concentric and eccentric muscle actions during resistance training on skeletal muscle adaptations in women. *Eur J Appl Physiol*, 97(4), 443-53.
- GODARD, M. P., WYGAND, J. W., CARPINELLI, R. N., CATALANO, S. & OTTO, R. M. 1998. Effects of accentuated eccentric resistance training on concentric knee extensor strength. *J Strength Cond Res*, 12(1), 26-29.
- GONZÁLEZ BADILLO, J. J. & GOROSTIAGA, E. 1995. Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento., Barcelona, España, Ed. INDE.
- GREENWOOD, J., MORRISSEY, M. C., RUTHERFORD, O. M. & NARICI, M. V. 2007. Comparison of conventional resistance training and the fly-

- wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *Eur J Appl Physiol*, 101(6), 697-703.
- GROSS, M., LÜTHY, F., KROELL, J., MÜLLER, E., HOPPELER, H. & VOGT, M. 2010. Effects of eccentric cycle ergometry in alpine skiers. *Int J Sports Med*, 31(8), 572-6.
- GUILHEM, G., CORNU, C., NORDEZ, A. & GUÉVEL, A. 2010. A new device to study isoload eccentric exercise. *J Strength Cond Res*, 24(12), 3476-83.
- GUR, H., CAKUN, N., AKOVA, B., OKAY, E. & KUCUKOGLU, S. 2002. Concentric versus combined concentric-eccentric isokinetic training: effects on functional capacity and symptoms in patients with osteoarthritis of the knee. *Arch Phys Med Rehabil*, 83(3), 308-316.
- HAFEZ, A., ZAKIRA, A. & BURAGADDA, S. 2012. Eccentric versus Concentric Contraction of Quadriceps Muscles in Treatment of Chondromalacia Patellae. *World Journal of Medical Sciences*, 7(3), 197-203.
- HAMLIN, M. J. & QUIGLEY, B. M. 2001. Quadriceps concentric and eccentric exercise 1: changes in contractile and electrical activity following eccentric and concentric exercise. *J Sci Med Sport*, 4(1), 88-103.
- HANSEN, R. D., WILLIAMSON, D. A., FINNEGAN, T. P., LLOYD, B. D., GRADY, J. N., DIAMOND, T. H., SMITH, E. U., STAVRINOS, T. M., THOMPSON, M. W., GWINN, T. H., ALLEN, B. J., SMERDELY, P. I., DIWAN, A. D., SINGH, N. A. & SINGH, M. A. 2007. Estimation of thigh muscle cross-sectional area by dual-energy X-ray absorptiometry in frail elderly patients. *Am J Clin Nutr*, 86(4), 952-8.
- HARRIS, N. K., CRONIN, J. B. & HOPKINS, W. G. 2007. POWER OUTPUTS OF A MACHINE SQUAT-JUMP ACROSS A SPECTRUM OF LOADS. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1260-1264.

- HASKELL, W. L., LEE, I. M., PATE, R. R., POWELL, K. E., BLAIR, S. N., FRANKLIN, B. A., MACERA, C. A., HEATH, G. W., THOMPSON, P. D. & BAUMAN, A. 2007. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc*, 39(8), 1423-34.
- 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), 177-85.
- HEDAYATPOUR, N. & FALLA, D. 2012. Non-uniform muscle adaptations to eccentric exercise and the implications for training and sport. *J Electromyogr Kinesiol*, 22(3), 329-333.
- HENDY, A. M., SPITTLE, M. & KIDGELL, D. J. 2012. Cross education and immobilisation: mechanisms and implications for injury rehabilitation. *J Sci Med Sport*, 15(2), 94-101.
- HIBBERT, O., CHEONG, K., GRANT, A., BEERS, A. & MOIZUMI, T. 2008. A systematic review of the effectiveness of eccentric strength training in the prevention of hamstring muscle strains in otherwise healthy individuals. *N Am J Sports Phys Ther*, 3(2), 67-81.
- HIGBIE, E. J., CURETON, K. J., WARREN, G. L. & PRIOR, B. M. 1996. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol*, 81(5), 2173-81.
- HILL, A. V. 1922. The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most. *J Physiol*, 56(1-2), 19-41.
- HOFFMAN, J. R., RATAMESS, N. A., COOPER, J. J., KANG, J., CHILAKOS, A. & FAIGENBAUM, A. D. 2005. Comparison of loaded and unloaded jump squat training on strength/power performance in college football players. *J Strength Cond Res*, 19(4), 810-5.

- HORI, N., NEWTON, R. U., NOSAKA, K. & MCGUIGAN, M. R. 2006. Comparison of Different Methods of Determining Power Output in Weightlifting Exercises. *Strength Cond J*, 28(2), 34-40.
- HORTOBÁGYI, T., DEMPSEY, L., FRASER, D., ZHENG, D., HAMILTON, G., LAMBERT, J. & DOHM, L. 2000. Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. *J Physiol*, 524 Pt 1, 293-304.
- HORTOBÁGYI, T., DEVITA, P., MONEY, J. & BARRIER, J. 2001. Effects of standard and eccentric overload strength training in young women. *Med Sci Sports Exerc*, 33(7), 1206-12.
- HORTOBÁGYI, T., HILL, J. P., HOUMARD, J. A., FRASER, D. D., LAMBERT, N. J. & ISRAEL, R. G. 1996. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol*, 80(3), 765-72.
- HORTOBÁGYI, T., LAMBERT, N. J. & HILL, J. P. 1997. Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Med Sci Sports Exerc*, 29(1), 107-12.
- HORTOBÁGYI, T., SCOTT, K., LAMBERT, J., HAMILTON, G. & TRACY, J. 1999. Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control*, 3(2), 205-19.
- HOUGH, T. 1900. ERGOGRAPHIC STUDIES IN MUSCULAR FATIGUE AND SORENESS. *J Boston Soc Med Sci*, 5(3), 81-92.
- HUBAL, M. J., GORDISH-DRESSMAN, H., THOMPSON, P. D., PRICE, T. B., HOFFMAN, E. P., ANGELOPOULOS, T. J., GORDON, P. M., MOYNA, N. M., PESCATELLO, L. S., VISICH, P. S., ZOELLER, R. F., SEIP, R. L. & CLARKSON, P. M. 2005. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 37(6), 964-72.

- HUBAL, M. J., RUBINSTEIN, S. R. & CLARKSON, P. M. 2008. Muscle function in men and women during maximal eccentric exercise. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1332-8.
- HUXLEY, A. F. 1974. Muscular contraction. *J Physiol*, 243(1), 1-43.
- JANDACKA, D., UCHYTIL, J., FARANA, R., ZAHRADNIK, D. & HAMILL, J. 2014. Lower extremity power during the squat jump with various barbell loads. *Sports Biomechanics*, 13(1), 75-86.
- JANSSEN, I., HEYMSFIELD, S. B., WANG, Z. & ROSS, R. 2000. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *J Appl Physiol*, 89(1), 81-88.
- JARIC, S., UGARKOVIC, D. & KUKOLJ, M. 2002. Evaluation of methods for normalizing muscle strength in elite and young athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 42(2), 141-51.
- JIMÉNEZ-GUTIÉRREZ, A. 2003. FUERZA Y SALUD La aptitud Músculo-Esquelética, el Entrenamiento de la Fuerza y la Salud, Barcelona, España, Ed. Ergo.
- JOHNSON, B. L. 1972. Eccentric vs concentric muscle training for strength development. *Medicine and Science in Sports*, 4(2), 111-115.
- JOHNSON, B. L., ADAMCZYK, J. W., TENNOE, K. O. & STROMME, S. B. 1976. A comparison of concentric and eccentric muscle training. *Med Sci Sports*, 8(1), 35-8.
- JONES, D. A. & RUTHERFORD, O. M. 1987. Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *J Physiol*, 391, 1-11.
- KAMINSKI, T. W., WABBERSEN, C. V. & MURPHY, R. M. 1998. Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *J Athl Train*, 33(3), 216-21.

- KANEHISA, H., IKEGAWA, S. & FUKUNAGA, T. 1994. Comparison of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 68(2), 148-54.
- KANNUS, P., ALOSA, D., COOK, L., JOHNSON, R. J., RENSTRÖM, P., POPE, M., BEYNNON, B., YASUDA, K., NICHOLS, C. & KAPLAN, M. 1992. Effect of one-legged exercise on the strength, power and endurance of the contralateral leg. A randomized, controlled study using isometric and concentric isokinetic training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 64(2), 117-26.
- KATZ, B. 1939. The relation between force and speed in muscular contraction. *J Physiol*, 96(1), 45-64.
- KAWAMORI, N. & HAFF, G. G. 2004. The optimal training load for development of muscular power. *J Strength Cond Res*, 18(3), 675-684.
- KELL, R. T. 2011. The influence of periodized resistance training on strength changes in men and women. *J Strength Cond Res*, 25(3), 735-44.
- KELLIS, E. & BALZANOPOULOS, V. 1995. Isokinetic eccentric exercise. *Sports Med*, 19(3), 202-22.
- KIM, J., SHEN, W., GALLAGHER, D., JONES, A., WANG, Z., WANG, J., HESHKA, S. & HEYMSFIELD, S. B. 2006. Total-body skeletal muscle mass: estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in children and adolescents. *Am J Clin Nutr*, 84(5), 1014-20.
- KIM, J., WANG, Z., HEYMSFIELD, S. B., BAUMGARTNER, R. N. & GALLAGHER, D. 2002. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(2), 378-383.
- KNUDSON, D. V. 2009. Correcting the use of the term "power" in the strength and conditioning literature. *J Strength Cond Res*, 23(6), 1902-1908.

- KNUTTGEN, H. G., PETERSEN, F. B. & KLAUSEN, K. 1971. Oxygen uptake and heart rate responses to exercise performed with concentric and eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports*, 3(1), 1-5.
- KOMI, P. V. & BUSKIRK, E. R. 1972. Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics*, 15(4), 417-34.
- KOMI, P. V., KANEKO, M. & AURA, O. 1987. EMG activity of the leg extensor muscles with special reference to mechanical efficiency in concentric and eccentric exercise. *Int J Sports Med*, 8 Suppl 1, 22-9.
- KRAEMER, W. J., FLECK, S. & DESCHENES, M. 2012. *Exercise Physiology Integrating theory and application*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins.
- KRAEMER, W. J. & RATAMESS, N. A. 2004. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674-88.
- KRAEMER, W. J. & VINGREN, J. L. 2007. Muscle Anatomy 101. In: BROWN, L. E. (ed.) *Strength Training*. Human Kinetics.
- KRZYKALA, M. 2010. Dual Energy X-Ray Absorptiometry in Morphological Asymmetry Assessment among Field Hockey Players. *Journal of Human Kinetic*, 25, 5-136.
- KRZYKALA, M. 2012. Dxa as a Tool for the Assessment of Morphological Asymmetry in Athletes, DualEnergy X-Ray Absorptiometry. In: MAGHRAOUI, A. E. (ed.) *Dual Energy X-Ray Absorptiometry*.
- LANGBERG, H., ELLINGSGAARD, H., MADSEN, T., JANSSON, J., MAGNUSSON, S. P., AAGAARD, P. & KJAER, M. 2007. Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scand J Med Sci Sports*, 17(1), 61-66.

- LANSHAMMAR, K. & RIBOM, E. L. 2011. Differences in muscle strength in dominant and non-dominant leg in females aged 20-39 years--a population-based study. *Phys Ther Sport*, 12(2), 76-9.
- LARA, A. J., ABIAN, J., ALEGRE, L. M., JIMENEZ, L. & AGUADO, X. 2006. Assessment of power output in jump tests for applicants to a sports sciences degree. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(3), 419-24.
- LASTAYO, P. C., EWY, G. A., PIEROTTI, D. D., JOHNS, R. K. & LINDSTEDT, S. 2003. The positive effects of negative work: increased muscle strength and decreased fall risk in a frail elderly population. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 58(5), M419-24.
- LASTAYO, P. C., PIEROTTI, D. J., PIFER, J., HOPPELER, H. & LINDSTEDT, S. L. 2000. Eccentric ergometry: increases in locomotor muscle size and strength at low training intensities. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 278(5), R1282-8.
- LASTAYO, P. C., REICH, T. E., URQUHART, M., HOPPELER, H. & LINDSTEDT, S. L. 1999. Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen. *Am J Physiol*, 276(2 pt 2), R611-5.
- LAUBACH, L. L. 1976. Comparative muscular strength of men and women: a review of the literature. *Aviat Space Environ Med*, 47(5), 534-42.
- LEE, M. & CARROLL, T. J. 2007. Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Med*, 37(1), 1-14.
- LEE, M., GANDEVIA, S. C. & CARROLL, T. J. 2009. Unilateral strength training increases voluntary activation of the opposite untrained limb. *Clinical Neurophysiology*, 120(4), 802-808.
- LESUER, D. A., MCCORMICK, J. H., MAYHEW, J. L., WASSERSTEIN, R. L. & ARNOLD, M. D. 1997. The accuracy of prediction equations for

- estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift. *J Strength Cond Res*, 11(4), 211-213.
- LEVINE, J. A., ABBOUD, L., BARRY, M., REED, J. E., SHEEDY, P. F. & JENSEN, M. D. 2000. Measuring leg muscle and fat mass in humans: comparison of CT and dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol*, 88(2), 452-6.
- LEVINGER, I., GOODMAN, C., HARE, D. L., JERUMS, G., TOIA, D. & SELIG, S. 2009. The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *J Sci Med Sport*, 12(2), 310-6.
- LICHTNECKERT, S. J., THOMSON, D. A. & AKESSON, S. L. 1969. A reversible ergometer. *Scand J Clin Lab Invest*, 24(4), 373-5.
- LINDSTEDT, S. L., LASTAYO, P. C. & REICH, T. E. 2001. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci*, 16, 256-61.
- LOEHR, J. A., LEE, S. M. C., ENGLISH, K. L., SIBONGA, J., SMITH, S. M., SPIERING, B. A. & HAGAN, R. D. 2011. Musculoskeletal Adaptations to Training with the Advanced Resistive Exercise Device. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1), 146-156.
- LORAM, L. C., MITCHELL, D. & FULLER, A. 2005. Rofecoxib and tramadol do not attenuate delayed-onset muscle soreness or ischaemic pain in human volunteers. *Can J Physiol Pharmacol*, 83(12), 1137-45.
- LORENZ, D. & REIMAN, M. 2011. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains, and acl reconstruction. *Int J Sports Phys Ther*, 6(1), 27-44.
- MARTEL, G. F., ROTH, S. M., IVEY, F. M., LEMMER, J. T., TRACY, B. L., HURLBUT, D. E., METTER, E. J., HURLEY, B. F. & ROGERS, M. A. 2006. Age and sex affect human muscle fibre adaptations to heavy-resistance strength training. *Exp Physiol*, 91(2), 457-64.

- MASUDA, K., KIKUHARA, N., TAKAHASHI, H. & YAMANAKA, K. 2003. The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *J Sports Sci*, 21(10), 851-8.
- MAYHEW, J. L. & SALM, P. C. 1990. Gender differences in anaerobic power tests. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 60(2), 133-8.
- MAYHEW, T. P., ROTHSTEIN, J. M., FINUCANE, S. D. & LAMB, R. L. 1995. Muscular adaptation to concentric and eccentric exercise at equal power levels. *Med Sci Sports Exerc*, 27(6), 868-73.
- MCBRIDE, J. M., MCCAULLEY, G. O. & CORMIE, P. 2008. Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *J Strength Cond Res*, 22(3), 750-7.
- MCCURDY, K., LANGFORD, G. A., CLINE, A. L., DOSCHER, M. & HOFF, R. 2004. The reliability of 1 and 3rm tests of unilateral strength in trained and untrained men and women. *J Sports Sci Med*, 3(3), 190-196.
- MCCURDY, K. & LANGFORD, L. 2005. Comparison of Unilateral Squat Strength Between Dominant and Non-Dominant Leg in Men and Women. *Journal of Sport Science and Medicine*, 4, 153-159.
- MIJÁN, A. 2002. *Técnicas y métodos de investigación en nutrición humana*, Barcelona, España, Ed. Glosa.
- MILLER, L. E., PIERSON, L. M., NICKOLS-RICHARDSON, S. M., WOOTTEN, D. F., SELMON, S. E., RAMP, W. K. & HERBERT, W. G. 2006. Knee Extensor and Flexor Torque Development With Concentric and Eccentric Isokinetic Training. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 77(1), 58-63.
- MIRELLA, R. 2001. *Las nuevas metodologías del entrenamiento de la fuerza, la resistencia, la velocidad y la flexibilidad*, Barcelona, España, Ed. Paidotribo.

- MITSIOPOULOS, N., BAUMGARTNER, R. N., HEYMSFIELD, S. B., LYONS, W., GALLAGHER, D. & ROSS, R. 1998. Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography. *J Appl Physiol*, 85(1), 115-122.
- MJOLSNES, R., ARNASON, A., OSTHAGEN, T., RAASTAD, T. & BAHR, R. 2004. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports*, 14(5), 311-317.
- MONT, M. A., COHEN, D. B., CAMPBELL, K. R., GRAVARE, K. & MATHUR, S. K. 1994. Isokinetic concentric versus eccentric training of shoulder rotators with functional evaluation of performance enhancement in elite tennis players. *Am J Sports Med*, 22(4), 513-7.
- MOORE, C. A. & SCHILLING, B. K. 2005. Theory and Application of Augmented Eccentric Loading. *Strength Cond J*, 27(5), 20-27.
- MOORE, D., YOUNG, M. & PHILLIPS, S. 2012. Similar increases in muscle size and strength in young men after training with maximal shortening or lengthening contractions when matched for total work. *European J Appl Physiol*, 112(4), 1587-1592.
- MOORE, D. R., PHILLIPS, S. M., BABRAJ, J. A., SMITH, K. & RENNIE, M. J. 2005. Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 288(6), E1153-9.
- MORITANI, T. & DEVRIES, H. A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*, 58(3), 115-30.
- MOURAU, D., STALLENBERG, B., DUGAILLY, P. M. & BRASSINNE, E. 2000. The effect of submaximal eccentric isokinetic training on strength and cross sectional area of the human achilles tendon. *Isokinet Exerc Sci*, 8(3), 161-167.

- MUELLER, M., BREIL, F. A., VOGT, M., STEINER, R., LIPPUNER, K., POPP, A., KLOSSNER, S., HOPPELER, H. & DÄPP, C. 2009. Different response to eccentric and concentric training in older men and women. *Eur J Appl Physiol*, 107(2), 145-53.
- MUNN, J., HERBERT, R. D. & GANDEVIA, S. C. 2004. Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *J Appl Physiol* (1985), 96(5), 1861-6.
- MUNN, J., HERBERT, R. D., HANCOCK, M. J. & GANDEVIA, S. C. 2005. Training with unilateral resistance exercise increases contralateral strength. *J Appl Physiol* (1985), 99(5), 1880-4.
- NACLERIO, F. 2010. *Entrenamiento Deportivo. Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes*, Madrid, España, Ed. Panamericana.
- NACLERIO, F., JIMÉNEZ, A., ALVAR, B. & MARK, P. 2009. Assessing strength and power in resistance training. *Journal of Human Sport and Exercise*, IV(II), 100-113.
- NARDONE, A., ROMANÓ, C. & SCHIEPPATI, M. 1989. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *The Journal of Physiology*, 409(1), 451-471.
- NARDONE, A. & SCHIEPPATI, M. 1988. Shift of activity from slow to fast muscle during voluntary lengthening contractions of the triceps surae muscles in humans. *J Physiol*, 395, 363-81.
- NEWHAM, D. J., MCPHAIL, G., MILLS, K. R. & EDWARDS, R. H. 1983. Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci*, 61(1), 109-22.
- NEWTON, R. U., GERBER, A., NIMPHIUS, S., SHIM, J. K., DOAN, B. K., ROBERTSON, M., PEARSON, D. R., CRAIG, B. W., HÄKKINEN, K. &

- KRAEMER, W. J. 2006. Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *J Strength Cond Res*, 20(4), 971-977.
- NEWTON, R. U., KRAEMER, W. J., HAKKINEN, K., HUMPHRIES, B. J. & MURPHY, A. J. 1996. Kinematics, Kinetics, and Muscle Activation During Explosive Upper Body Movements. *J Appl Biomech*, 12(1), 31-43.
- NICKOLS-RICHARDSON, S. M., MILLER, L. E., D. F. WOOTTEN, D. F., RAMP, W. K. & HERBERT, W. G. 2007. Concentric and eccentric isokinetic resistance training similarly increases muscular strength, fat-free softtissue mass, and specific bone mineral measurements in young women. *Osteoporos Int*, (18), 789–796.
- NJEH, C. F., FUERST, T., HANS, D., BLAKE, G. M. & GENANT, H. K. 1999. Radiation exposure in bone mineral density assessment. *Applied Radiation and Isotopes*, 50(1), 215-236.
- NORRBRAND, L., FLUCKEY, J. D., POZZO, M. & TESCH, P. A. 2008. Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*, 102(3), 271-81.
- NORRBRAND, L., POZZO, M. & TESCH, P. A. 2010. Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*, 110(5), 997-1005.
- NORRBRAND, L., TOUS-FAJARDO, J., VARGAS, R. & TESCH, P. A. 2011. Quadriceps muscle use in the flywheel and barbell squat. *Aviat Space Environ Med*, 82(1), 13-9.
- NOSAKA, K., LAVENDER, A., NEWTON, M. & SACCO, P. 2003. Muscle Damage in Resistance Training -Is Muscle Damage Necessary for Strength Gain and Muscle Hypertrophy?-. *Int J Sport Health Sci*, 1(1), 1-8.

- O'HAGAN, F. T., SALE, D. G., MACDOUGALL, J. D. & GARNER, S. H. 1995. Response to resistance training in young women and men. *Int J Sports Med*, 16(5), 314-321.
- OKAMOTO, T., MASUHARA, M. & IKUTA, K. 2006. Differences of muscle oxygenation during eccentric and concentric contraction. *Isokinet Exerc Sci*, 14(3), 207-212.
- ORTIZ, V. 1999. Entrenamiento de fuerza y explosividad para la actividad física y el deporte de competencia, Barcelona, España, Ed. INDE.
- PADDON-JONES, D., LEVERITT, M., LONERGAN, A. & ABERNETHY, P. 2001. Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. *European J Appl Physiol*, 85(5), 466-471.
- PADULO, J., LAFFAYE, G. & CHAMARI, K. 2013. Concentric and eccentric: muscle contraction or exercise? *J Sports Sci Med*, 12(3), 608-9.
- PASCHALIS, V., NIKOLAIDIS, M. G., THEODOROU, A. A., PANAYIOTOU, G., FATOUROS, I. G., KOUTEDAKIS, Y. & JAMURTAS, A. Z. 2011. A weekly bout of eccentric exercise is sufficient to induce health-promoting effects. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1), 64-73.
- PETERSEN, F. B. 1969a. A bicycle ergometer for investigating the effect of eccentric exercise with arms and legs. A new modification of the Krogh's bicycle ergometer. *Int Z Angew Physiol*, 27(2), 133-7.
- PETERSEN, F. B. 1969b. Krogh's bicycle ergometer modified for eccentric exercise. *Acta Physiol Scand*, 76(1), 2A-3A.
- PIZZIGALLI, L., FILIPPINI, A., AHMAIDI, S., JULLIEN, H. & RAINOLDI, A. 2011. Prevention of falling risk in elderly people: the relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability. *J Strength Cond Res*, 25(2), 567-74.
- PLANK, L. D. 2005. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 8(3), 305-9.

- RAHNAMA, N., LEES, A. & BAMBAECICHI, E. 2005. A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*, 48(11-14), 1568-1575.
- RAUE, U., TERPSTRA, B., WILLIAMSON, D. L., GALLAGHER, P. M. & TRAPPE, S. W. 2005. Effects of Short-Term Concentric vs. Eccentric Resistance Training on Single Muscle Fiber MHC Distribution in Humans. *Int J Sports Med*, 26(5), 339-343.
- REEVES, N. D. 2006. Adaptation of the tendon to mechanical usage. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 6(2), 174-80.
- REEVES, N. D., MAGANARIS, C. N., LONGO, S. & NARICI, M. V. 2009. Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Exp Physiol*, 94(7), 825-33.
- RITTWEGER, J. & FELSEMBERG, D. 2009. Recovery of muscle atrophy and bone loss from 90 days bed rest: results from a one-year follow-up. *Bone*, 44(2), 214-24.
- RITTWEGER, J., FELSEMBERG, D., MAGANARIS, C. & FERRETTI, J. L. 2007. Vertical jump performance after 90 days bed rest with and without flywheel resistive exercise, including a 180 days follow-up. *Eur J Appl Physiol*, 100(4), 427-36.
- ROBERTSON, R. J., GOSS, F. L., RUTKOWSKI, J., LENZ, B., DIXON, C., TIMMER, J., FRAZEE, K., DUBE, J. & ANDREACCI, J. 2003. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 35(2), 333-41.
- ROIG, M., MACINTYRE, D. L., ENG, J. J., NARICI, M. V., MAGANARIS, C. N. & REID, W. D. 2010. Preservation of eccentric strength in older adults: Evidence, mechanisms and implications for training and rehabilitation. *Exp Gerontol*, 45(6), 400-9.

- 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), 556-68.
- ROMERO-RODRIGUEZ, D., GUAL, G. & TESCH, P. A. 2011. Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: a case-series study. *Phys Ther Sport*, 12(1), 43-8.
- RYSCHON, T. W., FOWLER, M. D., WYSONG, R. E., ANTHONY, A. & BALABAN, R. S. 1997. Efficiency of human skeletal muscle in vivo: comparison of isometric, concentric, and eccentric muscle action. *J Appl Physiol*, 83(3), 867-74.
- SAMADI, H., RAJABI, R., MINOONEJAD, H. & AGHAIARI, A. 2009. Asymmetries in Flexibility, Balance and Power Associated with Preferred and Non-Preferred Leg. *World Journal of Sport Sciences*, 2(1), 38-42.
- SANNICANDRO, I., ROSA, R. A., DE PASCALIS, S. & PICCINNO, A. 2012. The determination of functional asymmetries in the lower limbs of young soccer players using the countermovement jump. The lower limbs asymmetry of young soccer players. *Science & Sports*, 27(6), 375-377.
- SARIYILDIZ, M., KARACAN, I., REZVANI, A., ERGIN, O. & CIDEM, M. 2011. Cross-education of muscle strength: cross-training effects are not confined to untrained contralateral homologous muscle. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6), e359-64.
- SAYERS, S. P. & DANNECKER, E. A. 2004. How to prevent delayed onset muscle soreness (DOMS) after eccentric exercise. *International SportMed Journal*, 5(2), 84-97.
- SAYERS, S. P., HARACKIEWICZ, D. V., HARMAN, E. A., FRYKMAN, P. N. & ROSENSTEIN, M. T. 1999. Cross-validation of three jump power equations. *Med Sci Sports Exerc*, 31(4), 572-7.

- SCHOENFELD, B. & CONTRERAS, B. 2013. Is Postexercise Muscle Soreness a Valid Indicator of Muscular Adaptations? *Strength and Conditioning Journal*, 35(5), 16-21.
- SCHOENFELD, B. J. 2010. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2857-72.
- SCHOENFELD, B. J. 2012. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res*, 26(5), 1441-53.
- SCHOENFELD, B. J. 2013. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med*, 43(3), 179-94.
- SCHOT, P. K., BATES, B. T. & DUFEK, J. S. 1994. Bilateral performance symmetry during drop landing: a kinetic analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 26(9), 1153-9.
- SCHROEDER, E. T., HAWKINS, S. A. & JAQUE, S. V. 2004. Musculoskeletal adaptations to 16 weeks of eccentric progressive resistance training in young women. *J Strength Cond Res*, 18(2), 227-35.
- SCHWANBECK, S., CHILIBECK, P. D. & BINSTED, G. 2009. A comparison of free squat to Smith machine squat using electromyography. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2588-2591.
- SCRIPTURE, E. W., SMITH, T. L. & BROWN, E. M. 1894. On the education of muscular control and power. *Studies from the Yale Psychological Laboratory*, (2), 114-119.
- SEGER, J. Y., ARVIDSSON, B. & THORSTENSSON, A. 1998. Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 79(1), 49-57.
- SEGER, J. Y. & THORSTENSSON, A. 2005. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *Int J Sports Med*, 26(1), 45-52.

- SELIGER, V., DOLEJS, L. & KARAS, V. 1980. A dynamometric comparison of maximum eccentric, concentric, and isometric contractions using emg and energy expenditure measurements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 45(2-3), 235-44.
- SEWRIGHT, K. A., HUBAL, M. J., KEARNS, A., HOLBROOK, M. T. & CLARKSON, P. M. 2008. Sex differences in response to maximal eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 40(2), 242-51.
- 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*, 102(1), 368-373.
- SHELLOCK, F. G., FUKUNAGA, T., MINK, J. H. & EDGERTON, V. R. 1991. Acute effects of exercise on MR imaging of skeletal muscle: concentric vs eccentric actions. *AJR Am J Roentgenol*, 156(4), 765-8.
- SHEPSTONE, T. N., TANG, J. E., DALLAIRE, S., SCHUENKE, M. D., STARON, R. S. & PHILLIPS, S. M. 2005. Short-term high- vs low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *J Appl Physiol*, 98(5), 1768-76.
- SIEGEL, J. A., GILDERS, R. M., STARON, R. S. & HAGERMAN, F. C. 2002. Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *J Strength Cond Res*, 16(2), 173-178.
- SIFF, M. C. & VERKHOSHANSKY, Y. 2004. *Superentrenamiento*, Barcelona, España, Ed. Paidotribo.
- SJÖSTRÖM, M., LEXELL, J., ERIKSSON, A. & TAYLOR, C. C. 1991. Evidence of fibre hyperplasia in human skeletal muscles from healthy young men? A left-right comparison of the fibre number in whole anterior tibialis muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(5), 301-4.

- SMITH, L. L. 1992. Causes Of Delayed Onset Muscle Soreness and the Impact on Athletic Performance: A Review. *Journal of Applied Sports Science Research*, 6(3), 135 - 141.
- SMITH, R. C. & RUTHERFORD, O. M. 1995. The role of metabolites in strength training. I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 71(4), 332-6.
- SPURWAY, N. C., WATSON, H., MCMILLAN, K. & CONNOLLY, G. 2000. The effect of strength training on the apparent inhibition of eccentric force production in voluntarily activated human quadriceps. *Eur J Appl Physiol*, 82(5-6), 374-80.
- STARON, R. S., KARAPONDO, D. L., KRAEMER, W. J., FRY, A. C., GORDON, S. E., HAGERMEN, F. C. & HIKIDA, R. S. 1994. Skeletal muscle adaptation during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol*, 76, 1247-1255
- TATE, C. M., WILLIAMS, G. N., BARRANCE, P. J. & BUCHANAN, T. S. 2006. Lower extremity muscle morphology in young athletes: an MRI-based analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 38(1), 122-8.
- TAYLOR, J. D. & FLETCHER, J. P. 2012. Reliability of the 8-repetition maximum test in men and women. *J Sci Med Sport*, 15(1), 69-73.
- TESCH, P. A., BERG, H. E., BRING, D., EVANS, H. J. & LEBLANC, A. D. 2005. Effects of 17-day spaceflight on knee extensor muscle function and size. *Eur J Appl Physiol*, 93(4), 463-8.
- TESCH, P. A., EKBERG, A., LINDQUIST, D. M. & TRIESCHMANN, J. T. 2004a. Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a non-gravity-dependent exercise system. *Acta Physiol Scand*, 180(1), 89-98.

- TESCH, P. A., TRIESCHMANN, J. T. & EKBERG, A. 2004b. Hypertrophy of chronically unloaded muscle subjected to resistance exercise. *J Appl Physiol*, 96(4), 1451-8.
- THEOHAROPOULOS, A., TSITSKARIS, G., NIKOPOULOU, M. & TSAKLIS, P. 2000. Knee strength of professional basketball players. / Force du genou de basketteurs professionnels. *J Strength Cond Res*, 14(4), 457-463.
- THOMAS, G. A., KRAEMER, W. J., SPIERING, B. A., VOLEK, J. S., ANDERSON, J. M. & MARESH, C. M. 2007. Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. *J Strength Cond Res*, 21(2), 336-342.
- THOMAS, M., FIATARONE, M. A. & FIELDING, R. A. 1996. Leg power in young women: relationship to body composition, strength, and function. *Med Sci Sports Med*, 28(10), 1321-1326.
- TOMBERLIN, J. P., BASFORD, J. R., SCHWEN, E. E., ORTE, P. A., SCOTT, S. C., LAUGHMAN, R. K. & ILSTRUP, D. M. 1991. Comparative study of isokinetic eccentric and concentric quadriceps training. *J Orthop Sports Phys Ther*, 14(1), 31-6.
- VALLEJO, A. F., SCHROEDER, E. T., ZHENG, L., JENSKY, N. E. & SATTLER, F. R. 2006. Cardiopulmonary responses to eccentric and concentric resistance exercise in older adults. *Age Ageing*, 35(3), 291-7.
- VIKNE, H., REFSNES, P. E., EKMARK, M., MEDBØ, J. I., GUNDERSEN, V. & GUNDERSEN, K. 2006. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med Sci Sports Exerc*, 38(10), 1770-81.
- VISSER, M., FUERST, T., LANG, T., SALAMONE, L., HARRIS, T. B., HEALTH, F. T., ABSORPTIOMETRY, A. B. C. S. D.-E. X. R. & GROUP, B. C. W. 1999. Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. *J Appl Physiol*, 87(4), 1513-1520.

- WALKER, P. M., BRUNOTTE, F., ROUHIER-MARCER, I., COTTIN, Y., CASILLAS, J. M., GRAS, P. & DIDIER, J. P. 1998. Nuclear magnetic resonance evidence of different muscular adaptations after resistance training. *Arch Phys Med Rehabil*, 79(11), 1391-8.
- WEINECK, J. 2005. *Entrenamiento total*, Barcelona, España, Ed. Paidotribo.
- 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), 104-8.
- WIEST, M., DAGNESE, F. & CARPES, F. 2010. Strength symmetry and imprecise sense of effort in knee extension. *Kinesiology*, 42(2), 164-168.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2010. *Global recommendations on physical activity*, Geneva, Switzerland. <http://www.who.int/publications/> consultado el 10 septiembre de 2014
- ZHOU, S. 2003. Cross education and neuromuscular adaptations during early stage of strength training. *Journal of exercise Science and fitness*, 1(1), 54-60.