



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del
Deporte

Efecto de un entrenamiento en circuito a alta
intensidad sobre la composición corporal, la fuerza,
la capacidad cardiorrespiratoria y el estado de salud
en la tercera edad

Autor:

D. Salvador Romero Arenas

Director:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Murcia, Julio de 2014



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del
Deporte

Efecto de un entrenamiento en circuito a alta
intensidad sobre la composición corporal, la fuerza,
la capacidad cardiorrespiratoria y el estado de salud
en la tercera edad

Autor:

D. Salvador Romero Arenas

Director:

Dr. D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón

Murcia, 03 de julio de 2014



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

DEFENSA DE TESIS DOCTORAL

El Dr. Pedro Emilio Alcaraz Ramón como Director de la Tesis Doctoral titulada *“Efecto de un entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal, la fuerza, la capacidad cardiorrespiratoria y estado de salud en la tercera edad”* realizada por Salvador Romero Arenas en el Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 03 de julio de 2014.

Fdo. Dr. Pedro Emilio Alcaraz Ramón



Tercer Ciclo. Vicerrectorado de Investigación
Campus de Los Jerónimos. 30107 Guadalupe (Murcia)
Tel. (+34) 968 27 88 22 - Fax (+34) 968 27 85 78 - C. e.: tercerciclo@ucam.edu

La presente Tesis Doctoral ha sido posible gracias a la financiación del Consejo Superior de Deportes, mediante la concesión de un proyecto de apoyo científico e investigación deportiva, código 07UPR20/10.

A Isabel, Salvador e Iván; mis padres y hermano.

A Miryam e Isaac.

AGRADECIMIENTOS

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

Mostrar mi más sincero agradecimiento al Prof. Pedro Emilio Alcaraz Ramón, director de la presente tesis, por su apoyo y confianza a lo largo de mi carrera académica.

Mostrar mi agradecimiento a Forosen, que nos abrió las puertas a sus instalaciones de manera desinteresada.

La realización de la fase experimental no hubiese sido posible sin la colaboración del equipo de trabajo de la Cátedra de Fisiología, especialmente a los Doctores Francisco Javier López Román y Antonio J. Luque Rubia, y a Esperanza Sánchez Portillo; del equipo de trabajo del departamento de nutrición, especialmente la Prof. Juana M. Morillas Ruiz y José Miguel Rubio Pérez; y de quienes colaboraron en los entrenamientos: Cristian Marín, Francisco Izquierdo, Tao Martínez, Andy Muñoz, Daniela Morales, muchas gracias por su gran contribución.

A todas aquellas personas que fueron el motivo y estuvieron involucrados en este proyecto, gracias por sus ganas, fortaleza para mejorar, reír y disfrutar de la vida.

Agradecer al Prof. Anthony J. Blazeovich su apoyo y consejos desde la distancia.

Agradecer al Prof. Luiz Fernando Martins Krueel, por brindarme la posibilidad de trabajar en su grupo de investigación como uno más.

A mis compañeros, Aarón Manzanares y Asun Martínez, con los que durante todo este tiempo he compartido experiencias.

A Pepa y Antonio, por su paciencia y ayuda en esta última fase del trabajo.

Agradecer a mi familia, especialmente a mis padres, Salvador e Isabel, por ser como son. Por enseñarme a apreciar la importancia del estudio. Gracias por su ejemplo y su esfuerzo.

Por último, a Miryam e Isaac, gracias por su apoyo irreductible y desinteresado, su confianza constante, su resistencia, su paciencia, su amor. Por las horas de nuestro tiempo juntos que han ofrecido gustosos a mi causa.

O segredo é não correr atrás das borboletas... É cuidar do jardim para que elas venham até você.

Mário Quintana (1906-1994)

PUBLICACIONES DE LA TESIS

La presente tesis doctoral se presenta siguiendo el modelo tradicional. Los datos presentados en esta tesis han generado la siguiente publicación original:

Romero-Arenas, S.; Blazevich, A. J.; Martínez-Pascual, M.; Pérez-Gómez, J; Luque, A. J.; López-Román, F. J. & Alcaraz, P. E. (2013). Effects of high-resistance circuit training in an elderly population. *Exp Gerontol.*, 48 (3), 334-340.

Además, parte de la fundamentación teórica de este trabajo generó un artículo de revisión:

Romero-Arenas, S.; Martínez-Pascual, M.; & Alcaraz, P. E. (2013). Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging & Disease*, 4 (5), 263-274.

CONTRIBUCIONES A CONGRESOS

Romero-Arenas, S.; Martínez, M.; Pérez-Gómez, J.; Blazevich, A.J.; Luque, A.J.; López-Román, F.J.; Morillas, J.M. & Alcaraz, P.E. (2011). Effects of high-resistance circuit vs. traditional strength training on body composition and strength in older women. 16th Annual Congress of the European College of Sport Science, Liverpool, Reino Unido, Julio 2011.

Romero-Arenas, S.; Martínez-Pascual, M.; Marín-Pagán, C.; Blazevich, A.J.; Luque, A.J.; López-Román, F.J.; Pérez-Gómez, J. & Alcaraz, P.E. (2012). Strength, body composition and cardiovascular effects of high-resistance circuit vs. traditional strength training in an elderly population. 17th Annual Congress of the European College of Sport Science, Brujas, Bélgica, Julio 2012.

Romero-Arenas, S.; Blazevich, A. & Alcaraz, P.E. (2013). Effects of high-resistance training on neuromuscular and functional mobility in an elderly population. 18th Annual Congress of the European College of Sport Science, Barcelona, España, Junio 2013.

Romero-Arenas, S.; Martínez-Pascual, M.; Marín-Pagán, C & Alcaraz, P.E. (2014). El ejercicio físico de alta intensidad sobre la calidad muscular y el equilibrio dinámico en personas mayores. 56 Congreso de la Sociedad Española de Geriatría y Gerontología: Nuevos horizontes en la atención a las personas mayores, Barcelona, España, Mayo 2014.

RESUMEN

Introducción: Uno de los objetivos importantes en los programas de ejercicio en las personas mayores es el incremento de la fuerza y de la masa muscular a la vez que se mejora la capacidad cardiovascular y se optimiza la composición corporal (incluido la densidad mineral ósea). Así, el entrenamiento en circuito, en el que se usan cargas ligeras con un descanso mínimo, se plantea como un programa efectivo que ha demostrado incrementos del consumo de oxígeno, de la ventilación pulmonar máxima, de la capacidad funcional y de la fuerza, a la vez que reduce la masa grasa y mejora la composición corporal. Sin embargo, un inconveniente significativo de los programas habituales de entrenamiento en circuito es que las cargas levantadas son típicamente bajas, de esta forma, el estímulo para las adaptaciones en fuerza y masa muscular y/o masa ósea es mínimo. Este hecho es un notable inconveniente para poblaciones mayores y clínicas, pues para éstas, el incremento de la masa muscular y ósea, así como la fuerza, es esencial para la de mejorar de la capacidad funcional. En este sentido, una alternativa a los programas tradicionales de entrenamiento en circuito es utilizar cargas más altas. Por lo tanto, en la presente tesis se plantea el siguiente objetivo general. **Objetivo:** Determinar los efectos del entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal, la fuerza, la capacidad cardiorrespiratoria, parámetros funcionales y la calidad de vida relacionada con la salud en personas mayores sanas; y comparar estos efectos con los provocados por un programa de entrenamiento de fuerza tradicional. **Método:** Treinta y siete sujetos sanos, con edades comprendidas entre los 55 y los 75 años, fueron distribuidos en un grupo de entrenamiento en circuito (GEC; n = 16) de alta intensidad, en un grupo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional de alta intensidad (GET; n = 14) y en un grupo control (GC; n = 7). Ambos grupos experimentales se sometieron a un entrenamiento con altas cargas (6 repeticiones máximas; 6RM) durante un periodo de 12 semanas consecutivas, con dos sesiones por semana en días alternos. El grupo control mantuvo sus rutinas diarias sin someterse a ningún programa de entrenamiento. Antes y después del programa de entrenamiento, se evaluó la composición corporal, la fuerza isocinética de los

miembros superiores e inferiores, parámetros funcionales como la estabilidad postural y la movilidad funcional, y la calidad de vida relacionada con la salud. También se evaluaron parámetros cardiorrespiratorios a través de un test incremental sobre un tapiz rodante. **Resultados:** Ambos grupos experimentales, GEC y GET, mostraron incrementos significativos en la fuerza isocinética ($p < 0,001$), y este aumento fue significativamente mayor en los grupos experimentales que en el CG ($p < 0,03$). Hubo un aumento significativo en la masa libre de grasa (GEC, $p < 0,001$; GET, $p = 0,025$), la densidad mineral ósea (GEC, $p = 0,025$; GET, $p = 0,018$) de los grupos experimentales. Sólo GEC mostró una disminución significativa de la masa de grasa ($p < 0,011$) en el GEC, y esta disminución fue significativamente mayor en GEC que en GC ($p = 0,039$). Hubo mejoras significativas en la economía de la marcha en el grupo GEC ($p < 0,049$), aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Se observó una mejora significativa en la movilidad funcional (GEC, $p < 0,001$; GET, $p = 0,012$), y esta disminución fue significativamente mayor en GEC al compararlo con el GC ($p = 0,045$). Sólo el GEC mostró una mejora significativa en la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud ($p = 0,029$). **Conclusiones:** Los presentes resultados demuestran claramente que el entrenamiento en circuito de alta intensidad puede ser tan eficaz como el entrenamiento de fuerza tradicional utilizando cargas pesadas para mejorar la masa muscular, la densidad mineral ósea, la fuerza muscular y la movilidad funcional, pero el GEC es el único que provocó adaptaciones en parámetros cardiorrespiratorios, en la composición corporal (es decir, disminución de la masa grasa) y en la percepción subjetiva de la calidad de vida relacionada con la salud en las personas mayores. Los presentes hallazgos son importantes porque indican que el entrenamiento en circuito puedes ser una forma eficaz en el tiempo que permite desencadenar múltiples adaptaciones fisiológicas positivas en esta población mayor.

Palabras clave: ancianos, tercera edad, entrenamiento en circuito, fuerza, salud.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
2.1. ENVEJECIMIENTO. CONCEPTO Y TENDENCIAS DEMOGRÁFICAS.....	9
2.2. TEORÍAS DEL ENVEJECIMIENTO	15
2.3. CONSECUENCIAS DEL ENVEJECIMIENTO	16
2.4. EJERCICIO FÍSICO EN LAS PERSONAS MAYORES.....	18
2.4.1. Ejercicio físico aeróbico en personas mayores.....	20
2.4.2. Ejercicio de fuerza con sobrecargas en personas mayores.....	25
2.5. ENTRENAMIENTO EN CIRCUITO EN PERSONAS MAYORES	36
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	47
3.1. HIPÓTESIS.....	49
3.2. OBJETIVOS	52
IV. METODOLOGÍA	55
4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	57
4.2. PARTICIPANTES	60
4.2.1. Criterios de inclusión.....	61
4.2.2. Criterios de exclusión	61
4.3. PROCEDIMIENTO	62
4.3.1. Variables independientes.....	63
4.3.2. Variables dependientes.....	67
4.3.3. Variables control.....	81
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	82
V. RESULTADOS.....	83
5.1. COMPOSICIÓN CORPORAL	87
5.2. FUERZA ISOCINÉTICA MÁXIMA	89
5.3. TENSIÓN ESPECÍFICA DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES	93
5.4. PARÁMETROS CARDIORRESPIRATORIOS, Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	95

5.5. MOVILIDAD FUNCIONAL.....	97
5.6. ESTABILIDAD POSTURAL.....	99
5.7. CALIDAD DE VIDA RELACIONADA CON LA SALUD.....	100
VI. DISCUSIÓN.....	101
6.1. COMPOSICIÓN CORPORAL.....	104
6.2. FUERZA MÁXIMA.....	107
6.3. TENSIÓN ESPECÍFICA.....	110
6.4. PARÁMETROS CARDIORRESPIRATORIOS, Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	111
6.5. MOVILIDAD FUNCIONAL.....	113
6.6. ESTABILIDAD POSTURAL.....	115
6.7. CALIDAD DE VIDA RELACIONADA CON LA SALUD.....	117
VII. CONCLUSIONES.....	121
VII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	127
VIII. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	131
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
X. ANEXOS.....	163

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Las abreviaturas de los convenios de unidades no se incluyen en esta relación al existir normas internacionales aceptadas sobre su uso. Tampoco se han incluido en esta relación las abreviaturas de uso universal en estadística, ni las del diccionario de la RAE.

Abreviatura	Descripción
ACSM	Colegio Americano de Medicina del Deporte (<i>American College of Sport Medicine</i>)
AHA	Asociación Americana del Corazón (<i>American Heart Association</i>)
ANOVA	Análisis de la varianza
AST	Área de sección transversal
AVD	Actividades de la vida diaria
CMO	Contenido mineral óseo
CVRS	Calidad de vida relacionada con la salud
DMO	Densidad mineral ósea
EC	Entrenamiento en circuito
EE	Energía gastada
EI	Extremidad inferior
GC	Grupo control
GEC	Grupo de entrenamiento en circuito
GET	Grupo de entrenamiento tradicional
INE	Instituto Nacional de Estadística
OMS	Organización Mundial de la Salud
p. ej.	Por ejemplo
RM	Repetición máxima

VE	Ventilación
VCO₂	Dióxido de carbono producido
VO₂	Consumo de oxígeno
VO_{2máx}	Consumo de oxígeno máximo
VO_{2pico}	Consumo de oxígeno pico
VT	Umbral ventilatorio

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Periodización de las pruebas.....	62
Tabla 2. Datos descriptivos de los grupos sometidos a estudio	86
Tabla 3. Datos de composición corporal.....	87
Tabla 4. Datos de torque pico a la velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$	89
Tabla 5. Datos de torque pico a la velocidad angular de $270^{\circ}\cdot s^{-1}$	90
Tabla 6. Tensión específica de la extremidad inferior	93
Tabla 7. Datos del consumo de oxígeno relativo a la masa libre de grasa ..	95
Tabla 8. Datos de gasto energético	96
Tabla 9. Datos del test de movilidad funcional Timed Up and Go	97
Tabla 10. Datos de estabilometría.....	99
Tabla 11. Datos de la calidad de vida relacionada con la salud	100
Tabla 12. Datos de referencia de la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud	118
Figura 1. Evolución de la esperanza de vida al nacer en España.....	12
Figura 2. Evolución de la esperanza de vida en España a los 60 años	13
Figura 3. Pirámide de la población de España.....	14
Figura 4. Tiempo necesario para realizar el Timed Up & Go test en función de la probabilidad de los individuos de edad avanzada que son propensos a caídas	34
Figura 5. Diseño del estudio	59
Figura 6. Participantes en una sesión de entrenamiento	63
Figura 7. Ejercicios y distribución de la carga de entrenamiento.....	64
Figura 8. Organización de los protocolos de entrenamiento sometidos a estudio.....	66

Figura 9. Densitómetro modelo Norland XR-46 y báscula-tallímetro SECA 778	69
Figura 10. Dinamómetro isocinético modelo Biodex 3 System Pro	70
Figura 11. Mascarilla de respiración a la cual se le acopla el flujómetro y las conexiones con el analizador de gases	74
Figura 12. Participantes sobre el tapiz rodante durante el protocolo de Naughton.....	75
Figura 13. Detalles del protocolo de Naughton.....	75
Figura 14. Colocación inicial de los participantes al comienzo del test Timed Up and Go	77
Figura 15. Software de la prueba estabilométrica	79
Figura 16. Diagrama de flujo del estudio.....	85
Figura 17. Cambios en la composición corporal.....	88
Figura 18. Cambios en el torque pico concéntrico a la velocidad de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$ para la flexión/ extensión de la articulación del codo y la rodilla.....	91
Figura 19. Cambios en el torque pico concéntrico a la velocidad de $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ para la flexión/ extensión de la articulación del codo y la rodilla.....	92
Figura 20. Cambios de la tensión específica de la extremidad inferior.....	94
Figura 21. Cambio en el tiempo de ejecución del test Timed Up and Go	98

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento es un proceso biológico complejo en el que se producen una serie de cambios, que afectan a una amplia gama de tejidos, órganos y funciones que, de forma acumulativa, pueden impactar negativamente en las actividades de la vida diaria (AVD) de las personas mayores (Chodzko-Zajko et al., 2009).

El cambio en la composición corporal es una característica del proceso fisiológico de envejecimiento que tiene profundos efectos sobre la salud. Ejemplo de ello es la acumulación gradual de grasa corporal y su redistribución a los depósitos centrales y viscerales (Hunter, Bryan, Wetzstein, Zuckerman, & Bamman, 2002) con el aumento del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Chodzko-Zajko et al., 2009), la pérdida de la masa muscular con la consecuente disminución del gasto metabólico (Janssen & Ross, 2005), y una osteopenia marcada (Marshall, Johnell, & Wedel, 1996).

La disminución en la producción de fuerza muscular y en la potencia aeróbica, son ejemplos de disminuciones funcionales con el envejecimiento, lo que puede limitar severamente el rendimiento físico y la independencia del individuo (Rantakokko, Manty, & Rantanen, 2013), correlacionándose esto último con todas las causas de mortalidad (Blair et al., 1995; Gulati et al., 2005; Laukkanen, Heikkinen, & Kauppinen, 1995; Metter, Talbot, Schrage, & Conwit, 2002; Rantanen et al., 2000; Ruiz et al., 2008; Sui et al., 2007). El envejecimiento juega un papel importante en las alteraciones observadas en el organismo de las personas mayores, pero desconocemos en qué proporción lo realiza, dado que la inactividad es un hecho consustancial con el envejecimiento. A medida que transcurren los años, la actividad física no sólo disminuye en intensidad, sino también en duración, lo que se traduce en un aumento progresivo en la dificultad para la realización de las tareas diarias, o lo que es igual, en un empobrecimiento de la calidad de vida (Marcos-Becerro, 2000).

Esta inactividad física es un factor de riesgo clave en el aumento de la mortalidad, la morbilidad y la discapacidad funcional en los ancianos. El ejercicio físico regular es esencial para la calidad de vida en la ancianidad y reduce la necesidad de asistencia (Chodzko-Zajko et al., 2009). Sin embargo, las adaptaciones que puede provocar el ejercicio regular son específicas del modo, la frecuencia, la duración, el volumen y la intensidad de la actividad física realizada, por lo que es necesario aplicar programas que combinen de forma simultánea estos parámetros de ejercicio físico. Por ejemplo, es conocido que tanto el entrenamiento de fuerza con sobrecargas como el de resistencia aeróbica pueden mejorar sustancialmente la condición física, y los factores relacionados con la salud en las personas mayores (Cadore et al., 2012; Cadore, Izquierdo, et al., 2013; Gennuso, Gangnon, Matthews, Thraen-Borowski, & Colbert, 2013; Paoli et al., 2010). Sin embargo, mientras que el entrenamiento de resistencia aeróbica es más eficaz en el aumento de la potencia aeróbica (Hepple, Mackinnon, Goodman, Thomas, & Pyley, 1997; Karavirta et al., 2009; Levy et al., 1998), la disminución de la masa grasa (Kay & Fiatarone Singh, 2006), la frecuencia cardíaca en reposo (Huang, Shi, Davis-Brezette, & Osness, 2005) y la tensión arterial (Seals, Hagberg, Hurley, Ehsani, & Holloszy, 1984), el entrenamiento de fuerza ha demostrado ser más eficaz en el aumento del metabolismo basal (Hunter, Wetzstein, Fields, Brown, & Bamman, 2000; Paoli et al., 2012), la densidad mineral ósea (Bemben & Bemben, 2011; Vincent & Braith, 2002), la masa muscular (Hunter, McCarthy, & Bamman, 2004), y la fuerza y potencia muscular (Fiatarone et al., 1990; Hakkinen, Kraemer, Newton, & Alen, 2001; Lexell, Downham, Larsson, Bruhn, & Morsing, 1995). Así, un programa de ejercicio que incluya actividades de fuerza y actividades de resistencia (entrenamiento concurrente), puede promover mejoras significativas en los factores relacionados con la salud de las personas mayores que lo realizan. Sin embargo, dicho programa en ocasiones presenta una serie de dificultades cuando el acceso a instalaciones de entrenamiento o de supervisores es limitado, o cuando existe poco tiempo disponible para el acondicionamiento físico. Por tanto, el objetivo de la presente tesis fue desarrollar una forma única de acondicionamiento (entrenamiento en circuito) que promoviera amplias adaptaciones en la condición física de las personas mayores, ya que puede ser de gran beneficio para los especialistas en el entrenamiento.

En este sentido, diversos investigadores han demostrado que el entrenamiento en circuito, basado en un entrenamiento de fuerza donde se utilizan cargas ligeras con un descanso mínimo, es muy eficaz para aumentar el consumo máximo de oxígeno, la ventilación pulmonar máxima, la capacidad funcional y la fuerza, al tiempo que mejora la composición corporal (Brentano et al., 2008; Camargo et al., 2008; Gettman, Ward, & Hagan, 1982; Harber, Fry, Rubin, Smith, & Weiss, 2004; Waller, Miller, & Hannon, 2011). Por lo tanto, el entrenamiento en circuito se presenta como una modalidad de entrenamiento eficiente en el tiempo que pueden provocar mejoras demostrables en la salud y en la condición física de personas de todas las edades.

Un inconveniente significativo de los programas tradicionales de entrenamiento en circuito, es que las cargas utilizadas son generalmente bajas (~40% de una repetición máxima; 1RM), por lo que el estímulo para conseguir adaptaciones de fuerza, masa muscular (Paoli et al., 2010) y masa ósea (Brentano et al., 2008) es mínimo. Esto es un problema para las personas mayores, para las que el aumento de la masa muscular y ósea, además del aumento de fuerza es esencial para la mejora o mantenimiento de la capacidad funcional global.

Recientemente, la literatura científica ha mostrado que adultos jóvenes pueden producir, bajo las mismas condiciones de carga (~85% de 1RM), la misma cantidad de trabajo en una sesión de entrenamiento en circuito que en una sesión de entrenamiento de fuerza tradicional (en la que los descansos son más amplios), con una mayor respuesta cardiorrespiratoria en el entrenamiento en circuito (Alcaraz, Sanchez-Lorente, & Blazevich, 2008). Así, el entrenamiento en circuito con cargas elevadas podría ser una alternativa eficaz de trabajo para las personas mayores, por sus beneficios tanto en la mejora de la masa muscular y reducción de la masa grasa, como por los beneficios que produce sobre la fuerza muscular y la resistencia aeróbica.

En vista de lo anterior, surge el interés de determinar los efectos del entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal, la fuerza, la capacidad cardiorrespiratoria, parámetros funcionales y la percepción

de la calidad de vida relacionada con la salud en personas mayores sanas, y comparar estos efectos con los provocados por un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional. Partimos de la hipótesis de que el entrenamiento en circuito a alta intensidad provocaría mejoras significativas en la capacidad cardiorrespiratoria, estando particularmente interesados en determinar si los cambios en la masa muscular, la fuerza y la composición corporal serían comparables a aquellos provocados por el entrenamiento de fuerza tradicional con altas cargas.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En esta sección, se pretenden hacer explícitas las bases teóricas y conceptuales de nuestra investigación. En este sentido, se ve reflejada la importancia de la búsqueda de estrategias con las que minimizar los cambios que sufre el organismo con la edad. En este capítulo, se presenta el fuerte crecimiento de la población que gracias a los innumerables avances que se han producido sobre todo en los siglos XIX y XX, aumentamos la esperanza de vida ocasionando una inversión de las pirámides de la población. A continuación, se repasan los beneficios que el ejercicio físico aporta a las personas de la tercera edad, centrándonos principalmente en los dos pilares que marcan las guías internacionales, el ejercicio de resistencia aeróbica y el ejercicio de fuerza con sobrecargas. Para concluir, se presentan los detalles de una modalidad de ejercicio como es el entrenamiento en circuito, incluyendo los últimos estudios que muestran al entrenamiento en circuito como una modalidad de ejercicio eficiente en el tiempo que provoca numerosos beneficios en la calidad de vida de las personas mayores.

2.1. ENVEJECIMIENTO. CONCEPTO Y TENDENCIAS DEMOGRÁFICAS

2.1.1. Concepto

La vejez, en el ser humano, es aceptada convencionalmente como la etapa del ciclo vital que empieza alrededor de los 65 años y acaba con la muerte. No obstante, es difícil constituir sus límites temporales en términos fisiológicos (Spirduso, Francis, & MacRae, 2005). A lo largo del tiempo, se ha fracasado en el intento de establecer objetivos concretos que pudieran señalar precisamente los primeros estadios del envejecimiento (Davidovic et al., 2010). El proceso de envejecimiento carece de los marcadores específicos que tienen otros periodos de la vida, como la menarquia y la pubertad. Más bien, su inicio se produce en algún punto indeterminado siguiendo a la madurez, y su progresión sigue unas fases que difieren en cada individuo (Timiras, 1997a).

El envejecimiento es un proceso biológico complejo en el que se producen cambios a nivel molecular, celular y de órganos que resultan en una disminución progresiva e inevitable en la capacidad del cuerpo para responder apropiadamente a los factores estresantes internos y/o externos (Timiras, 1997a). En este documento el proceso de envejecimiento es abordado fundamentalmente desde un punto de vista fisiológico, aunque se reconoce que éste se ve afectado significativamente por factores sociológicos y psicológicos, pero estos campos requieren una presentación extensa y competente, que va mucho más allá de la visión de esta tesis; por lo que tales temas no han sido incluidos.

La edad cronológica, considerada como el número de años, y la edad fisiológica, considerada en términos de capacidad funcional, no siempre coinciden, y la apariencia física y el estado de salud a menudo difieren de la edad cronológica. Desde una perspectiva fisiológica, tales disparidades en el calendario del envejecimiento pueden distar entre individuos, o entre poblaciones selectivas. Esto parece ser el resultado de interacciones complejas entre factores genéticos y ambientales que operan sobre el individuo. Algunos individuos «envejecen» a un ritmo mucho más lento o mucho más rápido que otros. Los factores extrínsecos desempeñan un importante papel en el declive funcional asociado a la edad. Si consideramos las diversas diferencias culturales que influyen de manera importante en el envejecimiento, resulta difícil atribuir los cambios que se dan al envejecer a una sola causa. Atribuir los cambios a la edad *per se*, puede parecer exagerado, y los factores como la dieta, el ejercicio físico, los tóxicos y el ambiente psicosocial no deben subestimarse o ser ignorados como moderadores potenciales del proceso de envejecimiento.

Si se tienen en cuenta todos estos elementos, las perspectivas para enlentecer, evitar o incluso invertir eventualmente la pérdida funcional con la vejez han mejorado mucho, y se han reducido los riesgos de las consecuencias adversas (Timiras, 1997b).

2.1.2. Tendencias demográficas

A medida que avanzamos en el siglo XXI, una de las mayores preocupaciones de gran parte de la sociedad es el aumento de la población envejecida, tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo. Los grandes avances tecnológicos, los progresos en el ámbito de la nutrición, la generalización de la higiene, la sanidad y la difusión de medicamentos han sido factores decisivos que han provocado el fuerte crecimiento de la población mundial, que ha pasado de los casi 1000 millones de personas en el año 1800 a más de 7 billones en la actualidad, con la previsión de alcanzar 8,1 billones en el año 2025 e incluso superar los 9,6 billones de habitantes en 2050 (United-Nations, 2013).

Todos estos avances han ayudado no sólo a disminuir la mortalidad infantil, sino también a aumentar la esperanza de vida al nacer del ser humano, que ha cambiado más en los últimos 70 años que en los 2000 años anteriores, pasando de 50 años a principios del siglo XX, a ser superior a los 75 años en la actualidad. De ahí, que el número de personas con una edad superior a 60 años, a nivel mundial, se espera que se multiplique por tres en 2050 (pasando de 760 millones a 2 billones de personas; aproximadamente el 22% del total de la población). Es un acontecimiento sin precedentes en la historia, que la mayoría de las personas de edad madura e incluso mayores tengan unos padres vivos, como ya ocurre en nuestros días. Ello significa que una mayor cantidad de niños conocerán a sus abuelos e incluso a sus bisabuelos, en especial a sus bisabuelas, ya que las mujeres viven por término medio entre 6 y 8 años más que los hombres.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), la esperanza de vida en España al nacer, que en 1901 era de 34,8 años, en algo más de un siglo ha alcanzado los 81,9 años, es decir, se ha multiplicado por 2,36 (Figura 1).

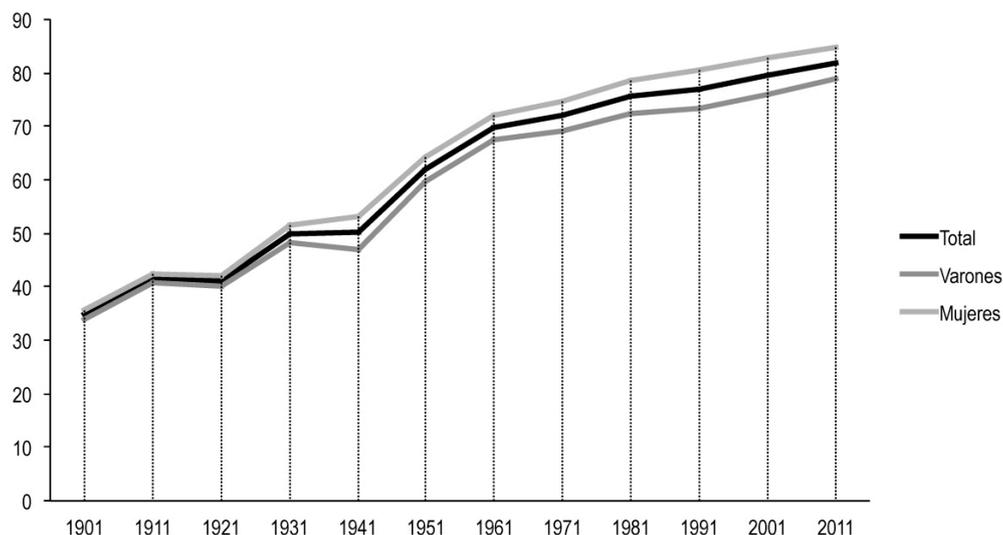


Figura 1. Evolución de la esperanza de vida al nacer en España (1901-2011).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE) «www.ine.es»

La esperanza de vida al nacer es una medida tanto de la supervivencia en las edades más tempranas como del tiempo que tienden a vivir los supervivientes. Es un concepto teórico ya que la esperanza de vida al nacer puede cambiar durante el periodo vital de un individuo, en concreto si las condiciones de bienestar en la sociedad mejoran. Podemos obtener una perspectiva distinta del envejecimiento de la población examinando el número de años adicionales que cabría esperar que viviera alguien que ya hubiera alcanzado los 60 años de edad. Esta «esperanza de vida a los 60 años» es una medida más precisa de la longevidad que la esperanza de vida al nacer. En la población española, la esperanza de vida a los 60 años se ha incrementado de forma progresiva en las últimas décadas (Figura 2), siendo en el año 2013 de 22,6 años para los hombres y 27 años para las mujeres (INE, 2012).

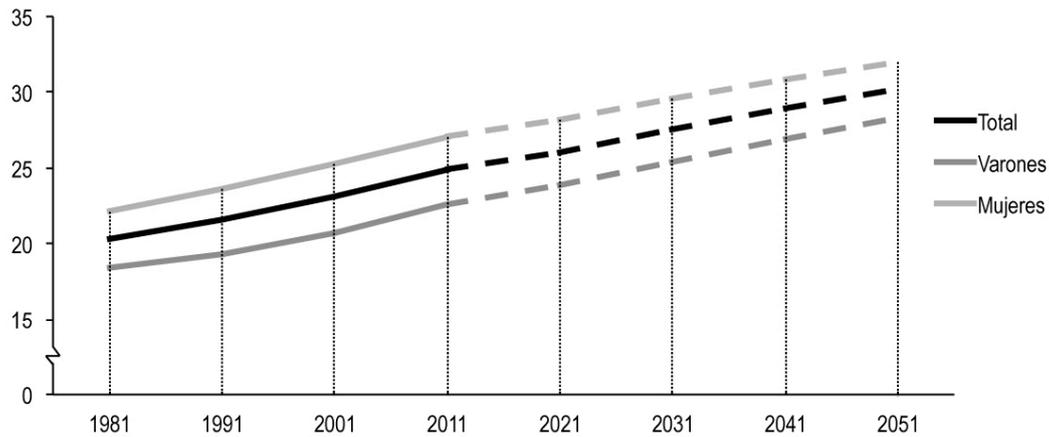


Figura 2. Evolución de la esperanza de vida en España a los 60 años (1981-2051).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE) «www.ine.es»

Este aumento de la esperanza de vida, junto a la reducción progresiva de la mortalidad y a la disminución de las tasas de fecundidad, característicos de países desarrollados, están provocando un aumento progresivo del grupo de personas mayores en nuestra sociedad. Desde el año 1900 la población mayor de 60 años en España se ha multiplicado por ocho en términos absolutos, y se prevé que en el año 2025 casi uno de cada cuatro ciudadanos tendrá más de 65 años y la mitad serán mayores de 50 años. Todo esto está produciendo una inversión de la pirámide poblacional (Figura 3) con las consecuencias sociales y económicas que conlleva.

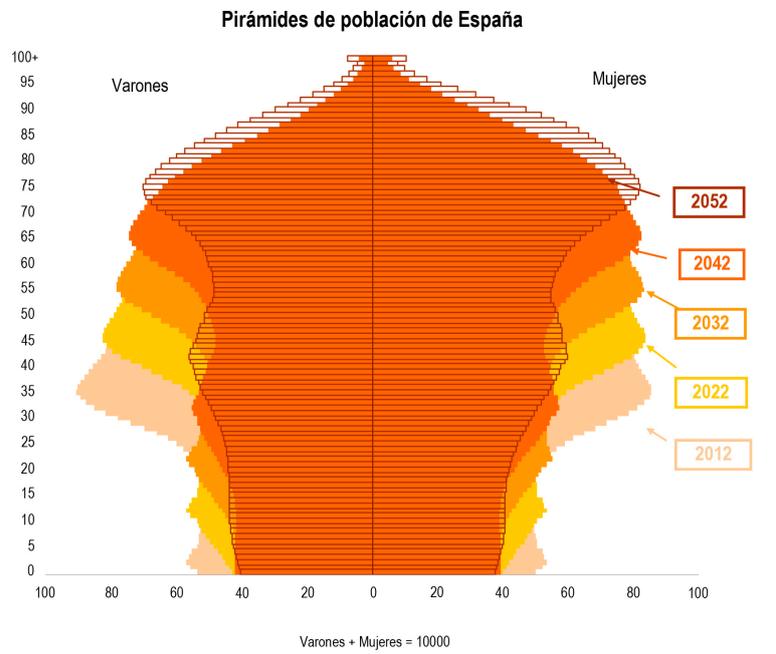


Figura 3. Pirámides de la población de España.

Fuente: Instituto nacional de Estadística (INE, 2012)

La simulación realizada muestra el continuo proceso de envejecimiento al que se enfrenta nuestra estructura demográfica. Los mayores crecimientos de población se concentrarían en las edades avanzadas. Concretamente, en el año 2052 el grupo de edad de mayores de 64 años se incrementaría en 7,2 millones de personas (89%) y pasaría a constituir el 37% de la población total de España (INE, 2012). Tal aumento del envejecimiento de la población es la razón fundamental en la apremiante necesidad de un mejor conocimiento y comprensión del proceso de envejecimiento y de los problemas de la vejez.

En el proceso de envejecimiento el organismo experimenta ciertos cambios estructurales y funcionales que llevan a un declive paulatino (Castillo-Garzón, Ortega-Porcel, & Ruiz-Ruiz, 2005), casi imperceptible en sus comienzos, pero que con el paso del tiempo acabará afectando a la capacidad funcional y a la capacidad de adaptación de la persona y por consiguiente, a la salud y la calidad de vida.

2.2. TEORÍAS DEL ENVEJECIMIENTO

Durante cientos de años se han propuesto diversas teorías que han intentado explicar el porqué del deterioro estructural y funcional asociado a la edad, pero ninguna de ellas parece ser totalmente satisfactoria para la comunidad científica (Davidovic et al., 2010). Las teorías biológicas modernas del envejecimiento en los seres humanos siguen fundamentalmente dos tendencias (Jin, 2010) aparentemente opuestas que se solapan. Por una parte, un conjunto de teorías, las teorías no estocásticas, afirman que el envejecimiento es un hecho «programado», lo cual supone que éste sigue un calendario biológico, tal vez una continuación del que regula el crecimiento y el desarrollo de la infancia. Estas teorías proponen que el envejecimiento depende de «relojes biológicos» que regularían la cronología de la longevidad, por ejemplo, mediante genes que se activan y desactivan secuencialmente. Otro grupo de teorías, las denominadas teorías estocásticas, sostienen que no hay nada de programado en el envejecimiento, sino que éste sobreviene como consecuencia de alteraciones que ocurren de forma aleatoria y se acumulan a lo largo del tiempo, enfatizando que las agresiones ambientales que inducen el daño acumulativo son las causas del envejecimiento.

Algunos autores reclaman la conciliación de ambas tendencias, contemplando que no solo la genética y los cambios celulares son los únicos responsables del declive que produce la edad sino que el entorno, los factores ambientales y el estilo de vida son determinantes en el proceso de envejecimiento. Es decir, aunque el envejecimiento esté transcrito en los genes y definitivamente nadie pueda escapar a este proceso, una parte importante de la calidad del mismo depende de los factores extrínsecos (Timiras, 1997a).

2.3. CONSECUENCIAS DEL ENVEJECIMIENTO

Ineludiblemente, el proceso de envejecimiento seguirá su curso con los años y producirá cambios funcionales y estructurales en el organismo. Es importante comprender cómo el envejecimiento y sus interacciones con el estilo de vida y los factores genéticos afectan a una amplia gama de órganos, sistemas y capacidades funcionales relevantes para el estado de salud de las personas mayores.

A continuación se presentan algunos de los cambios más notables asociados al envejecimiento (Fiatarone, 2004):

- Descenso de la masa muscular, la fuerza, la potencia, la resistencia muscular, la velocidad de contracción, la función mitocondrial, y capacidad oxidativa enzimática.
- Descenso de la capacidad aeróbica máxima y submáxima, la contractilidad cardiaca, la frecuencia cardiaca máxima, el volumen latido y el gasto cardiaco, deterioro de la relajación endotelial, y reducción de la variabilidad de la frecuencia cardiaca.
- Aumento de la rigidez arterial y miocárdica, y aumento de la presión arterial sistólica y diastólica.
- Disminución de la velocidad de conducción nerviosa.
- Alteración de la percepción y el equilibrio, disminución de la velocidad y de la estabilidad en la marcha.
- Reducción de la sensibilidad a la insulina y de la tolerancia a la glucosa.
- Incremento de la masa grasa visceral, de la grasa total, y de la acumulación lipídica intramuscular.
- Disminución de la elasticidad de los tejidos, adelgazamiento del cartílago, y acortamiento y debilitamiento de los tendones.
- Disminución de la función inmune.

- Descenso de la masa, la fuerza y la densidad ósea.

Estos cambios, que se producen de forma progresiva, conllevan con el paso del tiempo una limitación en la funcionalidad del individuo (Fiatarone, 2004). A su vez, esta limitación tiene como consecuencia, en términos generales, una pérdida de independencia para las actividades de la vida diaria; por lo que es tan importante tratar de prevenir o minimizar esta limitación de la funcionalidad (Castillo-Garzón et al., 2005).

El ritmo de los cambios anteriormente mencionados está determinado en gran parte por factores relacionados con el modo de vida (Yates, Djousse, Kurth, Buring, & Gaziano, 2008). La pendiente de esos cambios puede bajar de forma tan abrupta que el resultado sea una discapacidad prematura. Sin embargo, la aceleración de la disminución puede ser reversible a cualquier edad, y puede verse influenciada por diversas medidas, como aquellas que tienen que ver con los hábitos alimenticios, la exposición a tóxicos y la práctica de actividad física (Córdoba et al., 2012). Así, la incidencia de factores extrínsecos en el proceso de envejecimiento podría considerarse como un acontecimiento positivo, puesto que indica que muchos de los problemas que acompañan al envejecimiento podrían ser evitados o minimizados.

Por consiguiente, hay razones suficientes para optimizar el estilo de vida, procurando un envejecimiento saludable, que aumente las expectativas de vida activa libre de incapacidades para que las personas mayores puedan disfrutar de una vejez exitosa. Será posible vivir en mejores condiciones, evidenciando que las personas no sólo viven más sino también mejor (Christensen, McGue, Petersen, Jeune, & Vaupel, 2008).

2.4. EJERCICIO FÍSICO EN LAS PERSONAS MAYORES

En las personas mayores, la independencia funcional y la sensación de bienestar dependen directamente de la condición física, concepto definido recientemente como «la habilidad de llevar a cabo tareas diarias de forma vigorosa, sin fatiga excesiva y con energía suficiente para disfrutar de actividades de ocio y para hacer frente a necesidades imprevistas» (Garber et al., 2011). La condición física es un concepto que engloba todas las cualidades físicas que una persona requiere para la práctica de ejercicio; un alto nivel de condición física implica una buena respuesta fisiológica de todas ellas (Castillo-Garzón et al., 2005). Varios estudios epidemiológicos y prospectivos han mostrado una clara asociación entre el nivel de condición física y el índice de morbilidad y mortalidad de la población (Balady, 2002; Carnethon et al., 2003). De hecho, una baja condición física se presenta no ya como un factor de riesgo, sino como un potente predictor de morbilidad y mortalidad por todas las causas (Gulati et al., 2003; Mora et al., 2003; Myers et al., 2002).

La condición física está íntimamente relacionada con la práctica de ejercicio físico, constituyendo éste la mejor herramienta para retrasar y prevenir las consecuencias del envejecimiento, así como para fomentar la salud y el bienestar de la persona. De manera directa, el ejercicio físico repercute en la composición corporal, en la fuerza y la potencia muscular, en parámetros cardiorrespiratorios, metabólicos, funcionales y psicológicos (Chodzko-Zajko et al., 2009; Nelson et al., 2007). Diversos estudios han demostrado que la práctica regular de ejercicio físico aumenta la esperanza de vida y la posibilidad de mantener un buen estado funcional en edades avanzadas (Lee & Skerrett, 2001; Yates et al., 2008). Yates et al. (2008) realizaron un estudio de cohortes prospectivo con 2357 hombres (edad media, 72 años) y un seguimiento de 25 años, en el que se objetivó que la realización de ejercicio vigoroso sistemático se asociaba a una disminución de cerca del 30% en el riesgo de mortalidad antes de los 90 años. En una revisión en la que se evaluó la relación de la actividad física y la mortalidad por cualquier causa, se concluyó que un gasto energético durante el ejercicio de al menos 1000 kcal a la semana está asociado a una reducción significativa del 20-30% del riesgo de mortalidad por todas las causas, observando mayores reducciones del riesgo

de mortalidad con mayores volúmenes de gasto energético (Lee & Skerrett, 2001). Así mismo, potenciar la práctica de ejercicio físico de forma regular constituye, sin lugar a dudas, la mejor medicina disponible hoy en día para luchar contra el inexorable proceso de envejecimiento, posibilitando el tan ansiado objetivo de añadir tanto años a la vida como vida a los años (Castillo-Garzón et al., 2005; Córdoba et al., 2012).

Organizaciones internacionales como el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM, *American College of Sports Medicine*) y la Asociación Americana del Corazón (AHA, *American Heart Association*) establecen que son dos los pilares fundamentales en los que se debe sustentar un programa de ejercicio físico para personas mayores, el ejercicio aeróbico y el ejercicio de fuerza con sobrecargas. Además, los ejercicios destinados a la mejora de la amplitud del movimiento (movilidad articular), del equilibrio y de la coordinación también deben ocupar un papel fundamental dentro de una prescripción de ejercicio físico, con la finalidad de aumentar la capacidad funcional y mejorar la calidad de vida de esta población.

Las adaptaciones sobre el organismo de cada una de las dos modalidades de ejercicio anteriormente mencionadas, pueden variar en función de una serie de parámetros que se deben tener en cuenta, como son el tipo de ejercicio, la intensidad, el volumen, la duración, la frecuencia semanal, y las características y el nivel de condición física inicial de los participantes. Así, en los siguientes apartados se va a presentar una revisión de la literatura científica acerca de los programas de ejercicio aeróbico y de fuerza con sobrecargas, detallando en qué consisten, las recomendaciones que establece el ACSM, y los beneficios que cada programa produce sobre la composición corporal, la fuerza, parámetros cardiorrespiratorios, parámetros funcionales y sobre la calidad de vida relacionada con la salud.

2.4.1. Ejercicio físico aeróbico en personas mayores

La resistencia aeróbica es aquella capacidad que nos permite llevar a cabo un esfuerzo durante el mayor tiempo posible. El entrenamiento de resistencia aeróbica involucra movimientos que requieren movilizar gran parte de la masa corporal durante un tiempo prolongado. Ejemplos de actividades de este tipo son caminar, correr, nadar, montar en bicicleta o subir escaleras. Esta modalidad de entrenamiento tiene por objetivo mejorar la potencia aeróbica de las personas, que es cuantificada a través del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) (Schiller, Casas, Desouza, & Seals, 2001). Un programa de entrenamiento de resistencia aeróbica puede utilizar métodos continuos o fraccionados que inducen adaptaciones centrales y periféricas que incrementan el VO_{2max} y la habilidad de los músculos para generar energía a través de la vía oxidativa. Estas adaptaciones incluyen un aumento de la biogénesis mitocondrial, del contenido de mioglobina, de la densidad capilar, de la actividad de las enzimas oxidativas (Seals et al., 1984), y un aumento del gasto cardiaco (Beere, Russell, Morey, Kitzman, & Higginbotham, 1999). Asimismo, el entrenamiento de resistencia aeróbica provoca cambios en la composición corporal (Sillanpaa et al., 2008; Sillanpaa et al., 2009) e incluso pequeñas adaptaciones en la fuerza muscular cuando el ejercicio se realiza sobre un cicloergómetro (Izquierdo et al., 2004; Sillanpaa et al., 2009). Las personas mayores que realizan este tipo de programas presentan también una mejora del equilibrio (Kim & O'Sullivan D, 2013), tanto estático como dinámico (Marques et al., 2011), y una mejora de la percepción de su calidad de vida (Sillanpaa, Hakkinen, Holviala, & Hakkinen, 2012).

El ACSM aconseja que el entrenamiento de resistencia aeróbica en las personas mayores tenga una duración mínima de 30 minutos a una intensidad moderada, cinco días a la semana, o 20 minutos de ejercicio vigoroso, tres veces por semana (Chodzko-Zajko et al., 2009). Éste se puede realizar de forma continua o en intervalos de diez minutos, según la posibilidad de cada persona. Las adaptaciones al entrenamiento aeróbico en los ancianos son cualitativamente similares a las de los adultos jóvenes (Seals, Taylor, Ng, & Esler, 1994), pero la magnitud de la mejora es menor, independientemente de la intensidad del mismo (ya sea máxima o submáxima) (Ehsani et al., 2003).

2.4.1.1. Efectos sobre la composición corporal

El entrenamiento de resistencia aeróbica puede inducir múltiples cambios que mejoran la capacidad del cuerpo para eliminar los lípidos aterogénicos (triglicéridos) de la circulación después de una comida (Katsanos, 2006), y utilizar preferentemente la grasa como un combustible muscular durante el ejercicio submáximo. Estos programas a intensidad moderada ($\geq 60\%$ del $\text{VO}_{2\text{ máx}}$) han mostrado ser efectivos en la reducción de la masa grasa total (Sillanpaa et al., 2008) y de la masa grasa en la región intra-abdominal ($>20\%$) (Hurley & Hagberg, 1998). Esto último tiene importantes consecuencias sobre la salud, ya que existe una fuerte relación entre la acumulación de grasa visceral y la resistencia a la insulina (Ohlson et al., 1985), y entre la acumulación de grasa visceral y el aumento del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Peiris et al., 1989).

Por otro lado, la literatura científica indica que el ejercicio aeróbico, que implica contracciones musculares repetidas pero a muy baja intensidad, no es suficiente para mantener la masa muscular con el avance de la edad (Hawkins, Wiswell, & Marcell, 2003). El entrenamiento aeróbico altera el tamaño y porcentaje de los subtipos de las fibras musculares tipos II, disminuyendo el área de sección transversal de las mismas y aumentando la proporción de fibras tipo IIa en relación a las IIb (Tanaka & Swensen, 1998).

De igual forma sucede con la salud ósea, ya que con la realización de tareas de «bajo impacto» se ve limitada la osteogénesis. Diversos estudios han demostrado que las actividades propias de un programa de entrenamiento aeróbico no representan un estímulo suficiente para la mejora de la densidad mineral ósea (DMO) (Marques et al., 2011), aunque también encontramos resultados que lo contradicen (Kohrt, Ehsani, & Birge, 1997). Parece que actividades más diversas, tales como correr, saltar, caminar por el monte, baile y aeróbic podrían ser beneficiosas desde el punto de vista de contrarrestar las pérdidas relacionadas con la edad y de reducir el riesgo de fractura de cadera (Asikainen, Kukkonen-Harjula, & Miilunpalo, 2004; Kohrt et al., 2004).

2.4.1.2. Efectos sobre la fuerza y la potencia muscular

Aparte de la alteración del tamaño y del porcentaje de las fibras, el entrenamiento de resistencia aeróbica también influye en las propiedades contráctiles de las fibras musculares, ya que disminuye la velocidad máxima de acortamiento de las fibras tipo II (Tanaka & Swensen, 1998). Conjuntamente, estos cambios en el tamaño de las miofibrillas y en las propiedades contráctiles, reducen la capacidad máxima del músculo para generar fuerza (Abernethy, Jurimae, Logan, Taylor, & Thayer, 1994).

Diversos estudios han mostrado que el entrenamiento de resistencia aeróbica consigue pequeños incrementos de fuerza muscular cuando es realizado en un cicloergómetro (Cadore et al., 2010; Izquierdo et al., 2004; Misic, Valentine, Rosengren, Woods, & Evans, 2009). Cadore et al. (2010) observaron un aumento del 24,7% de la fuerza dinámica máxima en sujetos sedentarios que realizaron un entrenamiento aeróbico durante 12 semanas en cicloergómetro, tres días por semana, a una intensidad de 80-100% de la frecuencia cardiaca correspondiente al segundo umbral ventilatorio.

2.4.1.3. Efectos sobre los parámetros cardiorrespiratorios

El consumo máximo de oxígeno es un índice de la capacidad cardiorrespiratoria ampliamente utilizado. El $VO_{2\text{máx}}$ es el producto de multiplicar el gasto cardíaco máximo por la diferencia arterio-venosa de oxígeno. Esta variable indica la capacidad máxima del sistema cardiorrespiratorio y vascular de transportar oxígeno del aire a los músculos, y el consumo de éste durante el ejercicio.

Se observa una pérdida lineal del $VO_{2\text{máx}}$ conforme envejecemos. Estas pérdidas en $VO_{2\text{máx}}$ oscilan entre un 3% y un 6% por década en adultos jóvenes, y un 20% por década en individuos mayores de 70 años (Fleg et al., 2005). El factor que más contribuye a esta pérdida del $VO_{2\text{máx}}$ con la edad es el descenso del gasto cardíaco máximo (volumen latido máximo \times frecuencia cardíaca máxima). Con la edad se produce un descenso lineal de la frecuencia cardíaca máxima (3-5% por

década) debido a un menor control del sistema nervioso autónomo, y una disminución del volumen latido máximo. A su vez, el descenso de la diferencia arterio-venosa máxima de oxígeno provocado por la edad también contribuye a la disminución del consumo máximo de oxígeno. Este descenso de la diferencia arterio-venosa máxima de oxígeno es el reflejo de una menor utilización del oxígeno por los tejidos, debido a la disminución de la masa muscular, al aumento de la resistencia vascular consecuencia de la aterosclerosis, a una reducción de la densidad capilar y a una disminución de la capacidad oxidativa del músculo.

El entrenamiento de resistencia aeróbica se presenta como una herramienta para minimizar esta imparable pérdida que se produce con la edad. Si la composición corporal y la actividad física se mantuvieran constantes, el deterioro del $\text{VO}_{2\text{ máx}}$ solo supondría un 5% por década (Betik & Hepple, 2008). Como respuesta al entrenamiento de resistencia se producen numerosas adaptaciones cardiorrespiratorias en las personas mayores, entre las que destacan: 1) un aumento del grosor de la pared del ventrículo izquierdo, y un aumento del volumen diastólico ventricular izquierdo en reposo, 2) un incremento global del volumen latido, tanto en reposo como durante el ejercicio, 3) un aumento de la fracción de eyección en el pico de ejercicio (Ehsani, Ogawa, Miller, Spina, & Jilka, 1991), 4) una disminución de la frecuencia cardiaca en reposo (Huang et al., 2005) y con cargas de trabajo submáximas (Hagberg et al., 1989), ya que el ejercicio de resistencia aeróbica provoca mejoras en la modulación del sistema nervioso vegetativo (Seals, Monahan, Bell, Tanaka, & Jones, 2001) con un incremento del tono vagal (Okazaki et al., 2005), 5) un aumento del gasto cardiaco a niveles máximos de ejercicio, debido en gran medida al incremento del volumen latido máximo (Dogra, Spencer, & Paterson, 2012; Murias, Kowalchuk, & Paterson, 2010), 6) la formación de capilares y la mejora del flujo sanguíneo, contribuyendo a aumentar la extracción de O_2 por la musculatura activa (Arnett, Laity, Agrawal, & Cress, 2008; Jubrias, Esselman, Price, Cress, & Conley, 2001; Wray, Uberoi, Lawrenson, & Richardson, 2006), 7) numerosos efectos cardioprotectores, incluyendo reducción en los factores de riesgo aterogénicos (reducción de triglicéridos y aumento de las concentraciones de HDL), reducción en la rigidez arterial (Tanaka et al., 2000) y descenso de la tensión arterial sistólica y diastólica en reposo (Huang et al., 2013), 8) un descenso de la frecuencia respiratoria en

reposo y durante la realización de ejercicios submáximos reflejando una mayor eficacia pulmonar tras el entrenamiento, y un aumento de ésta con esfuerzos máximos (Wilmore & Costill, 2007), 9) un incremento de la ventilación pulmonar en esfuerzos máximos y 10) un aumento de la diferencia arterio-venosa de oxígeno, lo cual refleja una mayor extracción de oxígeno por los tejidos (Wilmore & Costill, 2007).

Con las diversas adaptaciones fisiológicas que tienen lugar, es obvio el aumento sustancial del $\text{VO}_{2\text{ máx}}$ en respuesta al entrenamiento de resistencia aeróbica. Programas de entrenamiento aeróbico con una intensidad ($\geq 60\%$ del $\text{VO}_{2\text{ máx}}$), una frecuencia y duración (≥ 3 días por semana, durante ≥ 16 semanas) suficientes, pueden incrementar el $\text{VO}_{2\text{ máx}}$ en personas mayores sanas (Chodzko-Zajko et al., 2009). Estos incrementos pueden oscilar entre el 10% y el 30% en los ancianos (Arena et al., 2007).

2.4.1.4. Efectos sobre parámetros funcionales

La capacidad funcional es definida como el nivel de independencia para realizar actividades de la vida diaria. El ejercicio físico se plantea como una destacada estrategia para mejorar diversos parámetros funcionales que ayudan a preservar la independencia de las personas mayores durante más tiempo. En concreto, el ejercicio aeróbico mejora aspectos como el equilibrio y la movilidad funcional en personas mayores (Marques et al., 2011), pero parece que estos resultados serían más pronunciados si el ejercicio aeróbico se combinara con un programa de fuerza o se realizara a través de programa multi-componente (Cadore, Rodríguez-Manas, Sinclair, & Izquierdo, 2013).

2.4.1.5. Efectos sobre la calidad de vida relacionada con la salud

La mejora de la condición física a partir del ejercicio aeróbico también afecta positivamente a aspectos psicológicos. Diferentes estudios han demostrado que el ejercicio aeróbico influye favorablemente en la autoimagen, el autoestima, la ansiedad, los trastornos de pánico y la depresión (Josefsson, Lindwall, & Archer,

2013; Meng & D'Arcy, 2013). Nos encontramos con varios estudios que relacionan el ejercicio aeróbico con una variable psicológica como es la mejora en la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud (Partonen, Leppamaki, Hurme, & Lonnqvist, 1998; Sillanpaa et al., 2012). Parece que existen correlaciones entre el consumo máximo de oxígeno y algunas de las dimensiones de la calidad de vida relacionada con la salud (Sillanpaa et al., 2012). Por lo que, el ejercicio aeróbico se presenta como una buena estrategia para la mejora de la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud en las personas mayores.

2.4.2. Ejercicio de fuerza con sobrecargas en personas mayores

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas es una modalidad de ejercicio que consiste en realizar una serie de contracciones musculares contra una carga o peso que ofrece resistencia. Esta resistencia puede ser generada por el propio peso corporal, bandas elásticas, pesos libres y/o máquinas específicas para el fortalecimiento muscular (Nelson et al., 2007). Se plantean numerosos métodos para el trabajo de fuerza con sobrecargas, entre los que destacan: 1) cargas máximas, 2) cargas submáximas, 3) fuerza-resistencia (entrenamiento en circuito), 4) isométricos, 5) contramovimientos, 6) isocinético y 7) electroestimulación.

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas ha crecido en popularidad en los últimos treinta años, sobre todo por su papel en la mejora del rendimiento deportivo mediante el aumento de la fuerza muscular, la potencia y la velocidad, la hipertrofia, la resistencia muscular, el equilibrio y la coordinación (Kraemer et al., 2004). Además, es recomendado por organizaciones como ACSM y AHA por los beneficios que aporta a la salud de la mayoría de la población (Chodzko-Zajko et al., 2009; Garber et al., 2011; Nelson et al., 2007).

La literatura científica disponible avala que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas provoca en las personas mayores un aumento en la fuerza muscular (Cadore, Pinto, Bottaro, & Izquierdo, 2014), en la potencia (Pereira et al., 2012) y en la activación muscular, así como en la masa muscular (Hunter et al., 2004). Asimismo, el entrenamiento de fuerza cada vez tiene más peso en los programas

destinados a mejorar la composición corporal (Paoli, Moro, & Bianco, 2014), ya que como se ha descrito produce hipertrofia muscular, lo que hace que aumente el gasto metabólico basal, ayudando a mejorar el control del peso corporal (Hunter et al., 2008; Zhang et al., 2002). Mejora la utilización de las grasas como combustible (Hunter et al., 2004), y mejora el perfil metabólico (Hunter et al., 2000). Este tipo de entrenamiento puede incrementar el colesterol HDL entre un 8-21%, disminuyendo el colesterol LDL en un 13-23% y reduciendo el nivel de los triglicéridos en un 11-18% (Fahlman, Boardley, Lambert, & Flynn, 2002; Hagerman et al., 2000; Joseph, Davey, Evans, & Campbell, 1999). Se presenta como una buena herramienta para combatir la osteoporosis (Gómez-Cabello, Ara, González-Aguero, Casajus, & Vicente-Rodríguez, 2012). Mejora la economía de movimiento (Hartman, Fields, Byrne, & Hunter, 2007), la velocidad de la marcha y disminuye el riesgo de discapacidad de los ancianos (Latham, Bennett, Stretton, & Anderson, 2004). También, el entrenamiento de fuerza ha demostrado que a nivel cardiorrespiratorio provoca mejoras en el $VO_{2\text{máx}}$ de hasta el 23,5% (Vincent, Braith, Feldman, Kallas, & Lowenthal, 2002).

El Colegio Americano de Medicina Deportiva (Chodzko-Zajko et al., 2009) recomienda que el entrenamiento de fuerza en las personas mayores se realice al menos dos veces por semana en días alternos, a una intensidad entre moderada (5-6) y vigorosa (7-8) sobre una escala de 0 a 10. Estos programas deben contener de una a tres series de 8-10 ejercicios que involucren a los grandes grupos musculares, y realizar 8-12 repeticiones de cada ejercicio.

2.4.2.1. Efectos sobre la composición corporal

El principal efecto que tiene este tipo de ejercicio sobre el control del peso corporal es la influencia que ejerce sobre el gasto de energía. Esta influencia engloba tanto al gasto energético asociado a la actividad física, como al gasto energético basal. En cuanto al gasto asociado a la actividad física, las organizaciones nacionales e internacionales de salud recomiendan sesiones de entrenamiento que provoquen una demanda de energía de ~1.000 kcal/semana (es decir, ~5% del gasto semanal de una ingesta promedio de 20.000 kcal/semana) (Black, Coward, Cole, & Prentice, 1996). Complementando este gasto propio de la

actividad física, el entrenamiento de fuerza con sobrecargas provoca también un incremento del gasto energético en reposo. Después de un entrenamiento de fuerza con sobrecargas intenso o prolongado, el consumo de oxígeno sigue siendo elevado durante varias horas, a esto se le conoce como «exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio» (EPOC). Este metabolismo elevado tras el ejercicio desempeña un papel en la demanda energética del ejercicio y en el efecto total del ejercicio en el control del peso corporal (Paoli et al., 2014). En una reciente revisión, Paoli et al. (2014) argumentan que el EPOC aumenta de forma exponencial en función de la intensidad del ejercicio, mientras que lo hace de forma lineal en función de la duración del mismo. Algunos estudios demuestran que un entrenamiento de fuerza con sobrecargas de alta intensidad genera mayor EPOC que aquel de intensidad más baja (Haltom et al., 1999; Thornton & Potteiger, 2002).

Otro aspecto a tener en cuenta en la influencia del entrenamiento de fuerza en el aumento del metabolismo basal, es el hecho de que este tipo de entrenamiento provoca un aumento de la masa muscular. Hunter et al. (2004) llevaron a cabo una revisión de 20 estudios en la que observaron que tras un entrenamiento de fuerza (9-52 semanas) las personas mayores experimentaron una hipertrofia del tejido muscular del 10-62%. Existe una relación directa entre la masa muscular y el gasto metabólico basal (Zhang et al., 2002), habiéndose demostrado que el entrenamiento de fuerza es capaz de aumentar el metabolismo basal (Hunter et al., 2008), además de disminuir la masa grasa total y visceral (Chodzko-Zajko et al., 2009).

Además de influir en el aumento del metabolismo basal, este incremento de la masa muscular conlleva un aumento de la fuerza, que mejora la capacidad funcional de las personas mayores y minimiza los efectos de la sarcopenia (Mitchell et al., 2012). Diversos estudios han demostrado incrementos importantes en la masa muscular en las personas mayores tras un entrenamiento de fuerza (Hunter et al., 2004; Nilwik et al., 2013), aunque estos incrementos son inferiores a los que se producen en adultos jóvenes (Kraemer et al., 1999). Según la literatura científica, se observan aumentos entre el 8 y el 15% del área de la sección transversal (AST) del cuádriceps en ancianos después de 10 a 16 semanas de

entrenamiento (Frontera, Meredith, O'Reilly, Knuttgen, & Evans, 1988; Kosek, Kim, Petrella, Cross, & Bamman, 2006; Kryger & Andersen, 2007; Narici, Reeves, Morse, & Maganaris, 2004). Nilwik et al. (2013) señalan como factor responsable de los cambios en la masa muscular de los individuos mayores a una reducción del tamaño de las fibras musculares tipo II con la edad. Estos autores sometieron a un grupo de personas mayores a un entrenamiento de fuerza (8-10 repeticiones con una carga del 60-75% de 1RM) tres veces por semana durante seis meses, observando un aumento estadísticamente significativo (24%) del tamaño de las fibras tipo II, sin un incremento estadísticamente significativo de las fibras tipo I. Por lo tanto, los autores concluyen que el aumento del AST del cuádriceps inducido por el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en personas mayores, parece ser debido en gran parte a un aumento tamaño de las fibras musculares tipo II. El mismo grupo de investigación también demostró que ese aumento de las fibras tipo II se producía de forma similar en ambos sexos (Leenders et al., 2013), lo que sugiere que los hombres y las mujeres se pueden beneficiar por igual del mismo programa de ejercicio. Esta hipertrofia específica de la fibra muscular tipo II es probablemente atribuida a los patrones de reclutamiento muscular típicos durante entrenamientos de fuerza de alta intensidad.

Hunter et al. (2004) establecieron que los parámetros para promover hipertrofia muscular en las personas mayores deberían ser una carga del 60-80% del 1RM, con un volumen de entrenamiento de 2-4 series de 8-15 repeticiones por ejercicio, y cada grupo muscular debería ser ejercitado 2-3 días por semana. Asimismo, Peterson et al. (2010) argumentaron que los modelos de progresión para el entrenamiento de fuerza en los adultos mayores deberían incluir una manipulación sistemática de volumen para dar cabida a la adaptación crónica de la masa muscular.

En cuanto al efecto que tiene el entrenamiento de fuerza sobre el hueso, varios meta-análisis han concluido que tiene un efecto positivo (Gómez-Cabello et al., 2012; Guadalupe-Grau, Fuentes, Guerra, & Calbet, 2009; Kelley, Kelley, & Tran, 2000). El aumento del estrés mecánico que proporciona este tipo de entrenamiento sobre el hueso ha demostrado ser un factor causal de osteogénesis (Gómez-Cabello et al., 2012).

Edwards et al. (2013) llegaron a la conclusión de que el tamaño muscular y la fuerza se asocian positivamente con el tamaño y la fuerza del hueso, tanto en hombres como en mujeres. Rhodes et al. (2000) también observaron correlaciones significativas entre los cambios en la fuerza de las piernas y los cambios en la DMO del cuello del fémur y la columna vertebral (0,27 a 0,40). Posteriormente, Vincent y Braith (2002) observaron un aumento del 1,96% en la DMO en el cuello del fémur, sin cambios significativos en la DMO del cuerpo completo y la columna vertebral después de un entrenamiento de fuerza de alta intensidad y bajo volumen de 24 semanas de duración.

Con el fin de investigar qué régimen de entrenamiento de fuerza produce mayores beneficios en los parámetros del hueso, Kerr et al. (1996) examinaron los efectos de un programa progresivo de entrenamiento de fuerza de un año de duración en la masa ósea de mujeres posmenopáusicas. Las participantes se dividieron en un grupo control y dos grupos de entrenamiento, uno que realizó ocho repeticiones por serie con una intensidad más alta, y otro grupo realizó 20 repeticiones por serie con una intensidad más baja. El aumento de la masa ósea en el grupo que entrenó con una intensidad más alta fue significativamente mayor en comparación al grupo control, mientras que no hubo aumento significativo en la DMO en el grupo que trabajó con un mayor número de repeticiones y menor carga. Estos resultados mostraron que la masa ósea en mujeres posmenopáusicas puede aumentar significativamente con un programa de fuerza con altas cargas y bajas repeticiones, pero no con un programa con alto número de repeticiones y una baja carga. Por lo tanto, la carga máxima parece ser más importante que el número de repeticiones en el aumento de la masa ósea en esta población.

2.4.2.2. Efectos sobre la fuerza y la potencia muscular

La pérdida de fuerza y potencia muscular se encuentra entre los procesos de cambio más importantes relacionados con la edad (Vandervoort, 2002). La fuerza disminuye de forma lineal tras la tercera década de la vida, siendo esta pérdida más pronunciada a partir de los 60 años de edad. En cuanto a la potencia muscular, ésta se pierde a una mayor velocidad de lo que lo hace la fuerza muscular (Hakkinen & Hakkinen, 1991; Izquierdo et al., 1999; Metter, Conwit,

Tobin, & Fozard, 1997), muy probablemente debido a una reducción desproporcionada en el tamaño de las fibras musculares tipo II (Klein, Marsh, Petrella, & Rice, 2003; Lexell et al., 1995; Nilwik et al., 2013).

Esta disminución en la condición muscular relacionada con la edad, puede tener un efecto perjudicial sobre la calidad de vida de una persona mayor, reduciendo su capacidad para realizar tareas cotidianas como caminar, subir o bajar escaleras e incluso levantarse desde una posición de sentado (Bottaro, Machado, Nogueira, Scales, & Veloso, 2007; Metter et al., 1997). Debido a que el rendimiento funcional y la movilidad son factores importantes para mantener el estado de salud, la independencia y el bienestar de los adultos mayores, las estrategias de intervención actuales apuntan a mantener o mejorar la fuerza y la función de este grupo de población (Clark & Fielding, 2012).

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas es considerado un método seguro y eficaz para aumentar la fuerza y la potencia muscular tanto en jóvenes (Peterson et al., 2010) como en mayores (Cadore et al., 2014; Fiatarone et al., 1990; Frontera et al., 1988; Reeves, Narici, & Maganaris, 2004; Vincent & Braith, 2002; Welle, Totterman, & Thornton, 1996). La magnitud de las adaptaciones que pueda producir este tipo de entrenamiento estará influenciada por la intensidad, el volumen y la frecuencia de entrenamiento.

En cuanto a la influencia de la intensidad del entrenamiento en las ganancias de fuerza, algunos estudios han demostrado que no hay diferencias en las mejoras de la fuerza en los ancianos cuando se utilizan intensidades de entrenamiento entre moderadas (50-65% del 1RM) y altas (70-80% del 1RM) (Brentano et al., 2008; Vincent & Braith, 2002). Sin embargo, recientes meta-análisis han demostrado que las intensidades de entrenamiento moderadas-altas (65-80 % del 1RM) producen un mayor efecto en las ganancias de fuerza (Peterson et al., 2010; Raymond, Bramley-Tzerefos, Jeffs, Winter, & Holland, 2013; Steib, Schoene, & Pfeifer, 2010). Por otro lado, para mejorar la potencia muscular se requiere altas velocidades de contracción muscular (Beltran Valls et al., 2014;

Bottaro et al., 2007), por lo que las intensidades de trabajo serán más bajas (40-50% del 1RM) que las utilizadas para las ganancias de fuerza muscular.

El volumen de entrenamiento también tiene una importante influencia en la magnitud de las adaptaciones musculares. En cuanto al número de series por ejercicio, algunos estudios han investigado si mayores volúmenes de entrenamiento (3 series por ejercicio) provocan mayores incrementos que programa de entrenamiento de fuerza con volúmenes más bajos (1 serie por ejercicio). En el estudio de Galvão & Taaffe (2005) se observaron mayores ganancias de fuerza en los sujetos que realizaron tres series por ejercicio al compararlos con aquellos que realizaron solamente una serie por ejercicio tras 20 semanas de entrenamiento de fuerza. Por el contrario, en un estudio reciente, Radaelli et al., (Radaelli et al., 2013) demostraron ganancias de fuerza similares entre una y tres series por ejercicio después de 12 semanas de entrenamiento de fuerza en mujeres mayores (60-74 años). Por tanto, parece que durante cortos períodos de tiempo, una serie por ejercicio puede ser suficiente para optimizar ganancias de fuerza en personas mayores, mientras que mayores volúmenes parecen ser necesarios para optimizar las ganancias de fuerza en periodos de entrenamiento más largos.

En relación a la frecuencia semanal de entrenamiento, parece que mayores frecuencias de entrenamiento (3 días por semana) obtienen mayores incrementos de fuerza que frecuencias de entrenamiento de fuerza más bajas (1 día por semana) en población mayor (Farinatti, da Silva, & Monteiro, 2013).

Se podría concluir que para maximizar las ganancias de fuerza la intensidad de entrenamiento debe ser moderada-alta (65-80% del 1RM), mientras que una intensidad más baja (40-60% del 1RM) y una velocidad de movimiento más alta inducen mayores adaptaciones en la potencia muscular. Además, parece que durante las primeras semanas de entrenamiento una serie por ejercicio puede mejorar los valores de fuerza en la misma medida que realizando tres series por ejercicio, mientras que durante períodos más largos, tres series por ejercicio pueden reportar más beneficios en las personas mayores. Finalmente, tres

sesiones de entrenamiento de fuerza a la semana parece inducir mayores ganancias de fuerza que una sesión por semana (Cadore et al., 2014).

2.4.2.3. Efectos sobre los parámetros cardiorrespiratorios

Aunque el entrenamiento de fuerza, a través del aumento del diámetro de la fibra muscular, puede provocar una disminución de la densidad mitocondrial (Tanaka & Swensen, 1998), algunos estudios han demostrado que el entrenamiento de fuerza provoca pequeños incrementos en la potencia aeróbica máxima de individuos no entrenados (Chtara et al., 2008; Gettman et al., 1982; Vincent et al., 2002; Wilmore et al., 1978), además de la mejora en la economía de movimiento (Hartman et al., 2007).

Además de producir hipertrofia de las fibras, esta modalidad de ejercicio origina una serie de modificaciones en los mecanismos encargados del transporte y utilización del oxígeno a nivel muscular, consistentes en un aumento del número de capilares por fibra (Hepple et al., 1997) y de la capacidad oxidativa de la célula muscular, expresada por un aumento de la enzima citrato sintasa (Frontera, Meredith, O'Reilly, & Evans, 1990). También se han descrito modificaciones en la forma en la que el músculo utiliza la energía, tales como el aumento de la velocidad en la degradación de los fosfágenos y el glucógeno, y un mejor aprovechamiento de los triglicéridos intramusculares (Marcos-Becerro, 2000). Es posible que todos estos cambios sean capaces de explicar las mejoras obtenidas en el VO_{2max} de quienes utilizan los entrenamientos de fuerza, incluidas las personas mayores. Diversos estudios han demostrado que tras un entrenamiento de fuerza utilizando cargas del 50-90% del 1RM, con una frecuencia de entrenamiento de 2-3 veces por semana, y una duración de 9-24 semanas, se obtienen mejoras en el VO_{2max} que oscilan del 8 al 23,5% (Hagerman et al., 2000; Hepple et al., 1997; Lovell, Cuneo, & Gass, 2009; Vincent et al., 2002), además de producir mejoras a nivel cardiovascular durante ejercicios aeróbicos submáximos, tales como una disminución de la presión arterial sistólica y de la frecuencia cardiaca, y un aumento del volumen latido (Lovell et al., 2009). La respuesta hemodinámica durante el ejercicio submáximo refleja mejor los niveles habituales de trabajo que un individuo experimenta durante su día a día. Estos

cambios durante el ejercicio submáximo pueden aportar información valiosa en la evaluación de un programa de entrenamiento, y ser de relevancia clínica en la prevención de factores de riesgo cardiovascular.

2.4.2.4. Efectos sobre parámetros funcionales

La inmensa mayoría de las fracturas óseas (~90%) en las personas mayores se originan por caídas, a las que los ancianos son muy susceptibles, debido a la disminución de la fuerza de los miembros inferiores y a la pérdida progresiva del equilibrio. El entrenamiento de fuerza de las extremidades inferiores ha demostrado provocar mejoras del equilibrio estático (Marques et al., 2011) y dinámico (Marques et al., 2013; Marques et al., 2011), lo que contribuye a disminuir la incidencia de caídas en la población mayor, y por tanto, a aumentar la independencia y mejorar la calidad de vida a estas edades.

Los problemas de movilidad, son de especial relevancia en las personas mayores, ya que son un factor de riesgo de sufrir caídas. El test «Timed Up and Go» es una herramienta ampliamente utilizada en la literatura científica y en el ámbito clínico, ya que no requiere material muy costoso y tampoco mucho tiempo para su realización (1-2 min). Según Sai et al. (2010) el test «Timed Up and Go» es el mejor test de equilibrio para predecir caídas recurrentes. Shumway-Cook et al. (2000) establecieron una predicción de los individuos de edad avanzada que son propensos a caídas (Figura 4). Este grupo, estableció que las personas mayores que tardan más de 13,5 s en ejecutar el test «Timed Up and Go» tienen un 90% de probabilidades de sufrir caídas (Shumway-Cook et al., 2000).

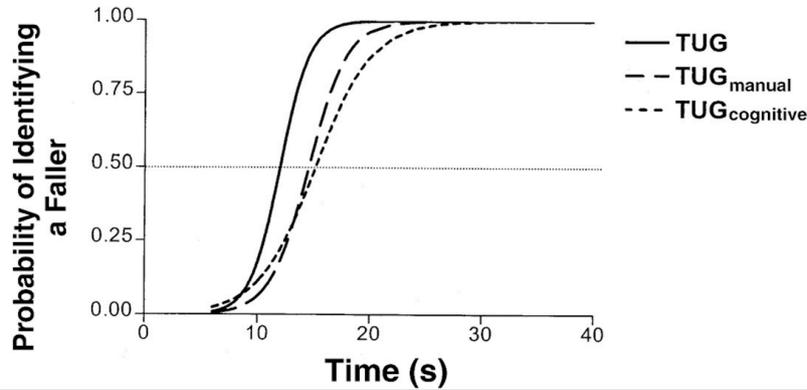


Figura 4. Tiempo necesario para realizar el Timed Up & Go test (TUG) en función de la probabilidad de los individuos de edad avanzada que son propensos a caídas.

Fuente: Shumway-Cook A., Brauer S., Woollacott M. (2000) Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther.* 80(9) 896-903.

2.4.2.5. Efectos sobre la calidad de vida relacionada con la salud

Hay consenso en que el ejercicio físico beneficia a la salud de las personas mayores mediante la reducción del riesgo de desarrollar ciertas enfermedades, además de mejorar el estado físico y mental (Chodzko-Zajko et al., 2009). Sin embargo, diferentes tipos de ejercicio físico tienen diferentes efectos y pueden implicar diferentes niveles de mejora en el organismo. Nos encontramos con abundantes estudios que relacionan el ejercicio aeróbico con la mejora de ciertos parámetros de la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS), pero no son tantos estudios los que valoran la CVRS tras un programa de fuerza. A pesar de ello, los estudios de intervención destinados a mejorar la función muscular han puesto de relieve la importancia del entrenamiento de fuerza para el bienestar físico y emocional de las personas mayores (Chodzko-Zajko et al., 2009).

Recientemente, Sillanpaa et al. (2012) evaluaron la CVRS, utilizando para ello el cuestionario SF-36. En su estudio, establecieron cuatro grupos: un grupo control, un grupo de resistencia en cicloergómetro, un grupo de fuerza de alta

intensidad y un grupo que combinó ambos entrenamientos. Tras 21 semanas de entrenamiento se observaron mejoras estadísticamente significativas en algunos parámetros del cuestionario en el grupo que entrenó resistencia y en el grupo que combinó ambos tipos de entrenamiento. No se observaron variaciones en el grupo de fuerza ni en el grupo control. Cassilhas et al. (2007) evaluaron si la intensidad del entrenamiento de fuerza podía afectar a la percepción de la CVRS. Para ello sometieron a un total de 62 hombres (65-75 años) a un programa de entrenamiento de fuerza tres días por semana durante 24 semanas. Se establecieron tres grupos: un grupo control, un grupo que entrenó con una intensidad del 50% del 1RM, y otro grupo que entrenó con una intensidad del 80% del 1RM. Tras completar el cuestionario SF-36, observaron que el grupo que entrenó con una intensidad moderada (50% del 1RM) consiguió mejorar algunos parámetros relativos a la CVRS, no haciéndolo el grupo que entrenó con intensidades altas (80% del 1RM) ni el grupo control.

2.5. ENTRENAMIENTO EN CIRCUITO EN PERSONAS MAYORES

Este apartado podríamos incluirlo dentro del apartado de «Ejercicio de fuerza con sobrecargas en personas mayores», ya que es una forma de organizar un entrenamiento de fuerza, pero debido a que los efectos del entrenamiento en circuito son el objeto de la presente tesis hemos considerado apropiado establecer un apartado propio en el que se revise la literatura científica sobre los efectos que este programa de fuerza produce en la composición corporal, en la fuerza, en parámetros cardiorrespiratorios, en parámetros funcionales, en la calidad de vida y en diferentes enfermedades relacionadas con la edad.

2.5.1. El entrenamiento en circuito

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito (EC) se presenta como una modalidad de ejercicio desarrollada por Morgan y Adamson en la Universidad de Leeds, en la década de los 50s (Morgan & Adamson, 1959). Se trata de un modelo de entrenamiento versátil, ya que puede ser adaptado a multitud de situaciones y diferentes poblaciones con diversos niveles de condición física. Los ejercicios están dispuestos en un patrón circular que pueden ser modificados en función del objetivo, la motivación o el nivel de los participantes (Waller et al., 2011).

Los programas de EC se diseñaron para desarrollar una serie de componentes de la condición física, como la capacidad cardiorrespiratoria, la fuerza y la potencia muscular. Estos programas consisten en realizar series de ejercicios de fuerza (6-10 ejercicios) que impliquen distintos grupos musculares, con un descanso mínimo entre ejercicios (15-30 s). La estimulación de los principales grupos musculares se produce de forma alterna (p. ej. piernas-espalda-abdomen-brazos), de manera que mientras un grupo muscular es estimulado, otro grupo muscular se recupera activamente. Debido a la alternancia de los grandes grupos musculares, es posible periodos de descanso breves entre ejercicio y ejercicio, lo que hace que la carga que recibe el sistema

cardiorrespiratorio sea más elevada que en un entrenamiento de fuerza convencional (Tesch, 1992).

El circuito se repite de una a tres veces, dependiendo del nivel de condición física de los participantes. Cada serie de los diferentes ejercicios consta de 12-15 repeticiones, en las que se utilizan cargas moderadas (aproximadamente 40-60% del 1RM), con una relación entre el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso habitualmente de 1:1 (30:30 s). La duración total aproximada de un programa de EC es de 30 min (Tesch, 1992), lo que lo hace ser una modalidad de ejercicio muy eficiente en el tiempo.

El número exacto de ejercicios, el volumen, la carga, la duración del intervalo de descanso, la duración de la sesión, así como la frecuencia semanal de entrenamiento dependerá de la condición física de los sujetos y del objetivo de entrenamiento.

Algunos investigadores han mostrado que el EC es muy efectivo para incrementar el VO_{2max} , la ventilación pulmonar máxima y la capacidad funcional en personas mayores sanas (Brentano et al., 2008; Camargo et al., 2008; Gettman, Ayres, Pollock, Durstine, & Grantham, 1979; Harber et al., 2004). La inclusión del EC es ya un hecho en los programas de rehabilitación cardíaca (William et al., 2007) porque reduce el estrés sobre el corazón (Willardson, 2006), incluso comparado con el ejercicio aeróbico (Green, Watts, Maiorana, & O'Driscoll, 2001), además de que provoca una mejora en la función de los músculos respiratorios basada en la alta ventilación (Braun, Hawthorne, & Markofski, 2005; Green et al., 2001).

Así, el EC es una modalidad de ejercicio eficiente en el tiempo que provoca cambios en factores relacionados con la salud y en la condición física. Con el EC se consiguen mejoras de la fuerza usando intensidades relativamente bajas (~ 40% del 1RM) (Gettman et al., 1979). Estas intensidades permiten ganancias de fuerza en personas sedentarias. Pero desafortunadamente, el estímulo para conseguir adaptaciones de fuerza, masa muscular (Paoli et al., 2010) y masa ósea (Brentano

et al., 2008) es mínimo. Esto es un problema para las personas mayores, para las que el aumento de la masa muscular y ósea, además del aumento de fuerza es esencial para la mejora o mantenimiento de la capacidad funcional global.

Sin embargo, nuevas evidencias y estrategias de ejercicio han indicado que trabajar con altas cargas (p. ej. 6RM) puede influir en la magnitud de las adaptaciones neuromusculares y cardiovasculares de los ancianos (Paoli et al., 2010). Para optimizar la prescripción de entrenamiento en circuito, parece razonable identificar la combinación más efectiva de carga, volumen, relación trabajo/descanso, frecuencia semanal y secuencia de ejercicios para promover adaptaciones neuromusculares, cardiorrespiratorias y en la composición corporal en personas mayores.

2.5.2. Efectos del entrenamiento en circuito sobre la composición corporal

El EC ha mostrado ser un método efectivo para reducir el peso corporal y la discapacidad física en ancianos obesos (Bocalini et al., 2012). Un factor que contribuye al fracaso de los tratamientos de la obesidad es el mantenimiento de dietas bajas en calorías durante largos periodos de tiempo, causando desmotivación. Una característica de los programas de fuerza en circuito es que permiten la posibilidad de que un gran número de personas tomen parte en la misma sesión. Este hecho se corresponde con la amplia variedad de ejercicios, así como el aumento de la posibilidad de incrementar las relaciones interpersonales con la práctica de ejercicio, lo que lleva a un mayor nivel de motivación durante el ejercicio.

2.5.1.1. Masa grasa

La prevalencia de personas con sobrepeso es un grave problema de salud pública, y es un factor de riesgo para desarrollar trastornos cardiovasculares y metabólicos. La frecuencia semanal, el volumen, la carga de entrenamiento, y la relación entre el trabajo y el descanso, juegan un papel fundamental en las adaptaciones inducidas por un entrenamiento de fuerza en circuito en la

población mayor. Los estudios disponibles han mostrado una disminución significativa de la grasa corporal utilizando una frecuencia de entrenamiento de tres sesiones por semana. Bocalini et al. (2012) estudiaron el efecto del EC (50 min aproximadamente) con una relación entre el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso de 1:1 (45:40 s) y una intensidad baja (ya que realizaban los ejercicios con bandas elásticas). Estos autores observaron que dependiendo del estado inicial de los sujetos, el entrenamiento afectaría de manera diferente, así, la reducción de la masa grasa fue de un 4,6%, 11%, y 21,4% para participantes con un peso normal, con sobrepeso y obesos, respectivamente. Takeshima et al. (2004), después de 12 semanas de entrenamiento (30 min por sesión), con una relación entre el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso de 1:1 (30:30 s) y una intensidad de entrenamiento moderada, observaron un descenso del 16% en la masa grasa. Este descenso es mayor que en otros estudios que evalúan el efecto de EC sobre la grasa corporal. Esto puede ser debido a que el EC consistió en 30 s de entrenamiento resistido con 30 s de movimientos de baile aeróbicos (70% de la frecuencia cardiaca de reserva), en los que los participantes marchaban en el sitio levantando los brazos durante 30 s.

Utilizando un volumen y una frecuencia de entrenamiento similar, Paoli et al. (2010) compararon circuitos de baja y alta intensidad. En este estudio se observó un gran descenso de la grasa corporal en el grupo de participantes que entrenó con altas cargas, que los autores atribuyen a un incremento del exceso de oxígeno consumido (EPOC) en las horas siguientes al ejercicio. Este incremento del EPOC podría explicar la mayor reducción de grasa en el EC. Estos resultados son similares a los de otros autores que mostraron que sesiones con intensidades más altas producían un mayor aumento del EPOC que con intensidades estándares (12-15RM) (Murphy & Schwarzkopf, 1992).

2.5.1.2. Masa muscular

Durante el envejecimiento se produce una disminución de la masa muscular, que conduce a la pérdida de la aptitud funcional en las personas mayores, reduciendo su habilidad para desarrollar tareas de la vida diaria. Por otra parte, las lesiones relacionadas con las caídas suponen un grave problema en

la vejez, ya que a menudo conducen a una prolongada, o incluso permanente, discapacidad. Así, el mantenimiento de la masa muscular es frecuentemente considerado una estrategia importante para mejorar la aptitud funcional, prevenir la ganancia de peso, reducir la discapacidad, mejorando la calidad de vida y reduciendo el coste sanitario (Marcos-Becerro, 2000).

A pesar de la importancia del mantenimiento de la masa muscular en ancianos, es escasa la información científica disponible sobre las adaptaciones morfológicas después de un programa de EC. Un inconveniente significativo de los programas de EC convencionales en la población mayor es que las cargas levantadas son relativamente bajas, por tanto, el estímulo para las adaptaciones musculares es mínimo (Romero-Arenas, Pérez-Gómez, & Alcaraz, 2011).

2.5.1.3. Masa ósea

La baja masa ósea y un deterioro del tejido óseo conducen a un aumento de la fragilidad ósea y a un riesgo de fracturas (Gómez-Cabello et al., 2012; Nguyen, Pongchaiyakul, Center, Eisman, & Nguyen, 2005). Aunque es conocido que un incremento en los niveles de actividad física puede mantener o incrementar la masa ósea, se sugiere que la mejor forma para mejorar las variables relacionadas con el hueso es incluir programas específicos de ejercicio (Gómez-Cabello et al., 2012). Varios métodos de entrenamiento se han utilizado con el fin de mejorar el contenido mineral óseo y la densidad mineral ósea en estudios prospectivos (Rhodes et al., 2000; Vincent & Braith, 2002). Sin embargo, no todas las formas de ejercicio tienen los mismos efectos sobre la masa ósea. Estos estudios que han evaluado el papel de diferentes programas de ejercicio sobre las variables relacionadas con el hueso en personas mayores han obtenido resultados diferentes (Gómez-Cabello et al., 2012). El entrenamiento de fuerza se propone como uno de los programas de ejercicio aplicados en personas mayores para la mejora de la masa ósea. El incremento del estrés mecánico sobre el hueso que ofrece este tipo de entrenamiento se ha demostrado como un factor causal de osteogénesis (Nelson et al., 1994).

Un inconveniente de los programas de EC convencionales, como se menciona anteriormente, es que las cargas levantadas por los participantes son tradicionalmente bajas, por eso el estímulo para producir adaptaciones en el hueso es mínimo. Las baja intensidades normalmente adoptadas en los programas de EC pueden limitar la posibilidad de incrementar la densidad mineral ósea (Brentano et al., 2008). Así, los pocos estudios que han evaluado los efectos del entrenamiento de fuerza en circuito sobre la densidad mineral ósea en personas mayores no encontraron cambios (Brentano et al., 2008; Rhodes et al., 2000), sugiriendo que cargas más altas de entrenamiento serían la clave para estimular un incremento en el contenido mineral óseo y en la densidad mineral ósea.

2.5.3. Efectos del entrenamiento en circuito sobre la fuerza muscular

La fuerza máxima está fuertemente y negativamente asociada con el riesgo de mortalidad por cualquier causa (Metter et al., 2002; Ruiz et al., 2008) y se piensa que es un factor principal que influye en la ambulatoria o la habilidad diaria y el riesgo de caídas en los ancianos (Tiedemann, Sherrington, Close, & Lord, 2011). Aunque se sabe que el entrenamiento de fuerza con altas cargas provoca sustanciales ganancias en la fuerza muscular, incluso en personas mayores (Fiatarone et al., 1990), el entrenamiento de fuerza en circuito usa habitualmente cargas bajas que previamente ha demostrado no promover incrementos de fuerza similares a los provocados por un entrenamiento de fuerza tradicional (Brentano et al., 2008) en personas mayores. Esto es probablemente porque el uso de altas cargas en entrenamientos de fuerza es necesario para optimizar las ganancias de fuerza muscular (Berger, 1962; Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981) y es un determinante clave de la hipertrofia de la fibra muscular (Fry, 2004).

Son pocos los estudios previos que han examinado el efecto del EC con altas cargas, probablemente porque los participantes no eran considerados capaces de desarrollar la misma fuerza muscular debido a la fatiga resultante de los cortos periodos de tiempo de recuperación. Sin embargo, Paoli et al. (Paoli et al., 2010)

examinaron los efectos del EC con una intensidad elevada (6RM) y los efectos del EC con intensidades más bajas, sobre la fuerza muscular, en personas de 50-65 años, y observaron que además de tolerar bien las elevadas cargas utilizadas en uno de los programas, el grupo que entrenó con una intensidad elevada obtuvo diferencias estadísticamente significativas en las ganancias de fuerza muscular al compararlo con aquel grupo que entrenó con una intensidad de trabajo más baja.

2.5.4. Efectos del entrenamiento en circuito sobre parámetros cardiorrespiratorios

El descenso de la capacidad cardiorrespiratoria en las personas mayores esta primariamente asociado con un descenso en el gasto cardiaco máximo causado por la reducción del volumen de eyección y la frecuencia cardíaca, y el cambio en la diferencia arterio-venosa de oxígeno (Astrand, Astrand, Hallback, & Kilbom, 1973). El entrenamiento de fuerza, además de producir hipertrofia de la fibra, causa cambios en el mecanismo responsable del transporte y utilización del oxígeno. Estos cambios consisten en un incremento de la densidad capilar por fibra y un incremento de la capacidad oxidativa de las células musculares, como se refleja con el incremento de la actividad de la enzima citrato sintasa (Frontera et al., 1990). También se ha descrito modificaciones en la forma en que los músculos utilizan la energía, tales como el aumento de la degradación de glucógeno y fosfágeno, y una mejor utilización de los triglicéridos intramusculares (Marcos-Becerro, 2000). Es posible que todos estos cambios puedan explicar las mejoras en el consumo de oxígeno en las personas que realizan EC, incluyendo los adultos mayores.

Estudios que han investigado las adaptaciones cardiorrespiratorias al EC han mostrado incrementos entre el 15% al 18,6% en el $VO_{2\text{máx}}$ usando un programa con 8-12 estaciones llevado a cabo tres días por semana (Brentano et al., 2008; Takeshima et al., 2004). Brentano et al. (2008) desarrollaron un programa de entrenamiento en circuito en mujeres posmenopáusicas el cual produjo mejoras significativas en el $VO_{2\text{máx}}$ (18,6%) después de 24 semanas de entrenamiento con intensidades del 40-60% del 1RM. Takeshima et al. (2004) desarrollaron un

circuito de entrenamiento «Nautilus» (máquinas de resistencia hidráulica) en el que intercalaban ejercicios de pesas con movimientos de baile aeróbicos durante 12 semanas y una intensidad moderada consiguiendo un incremento del 15% en $VO_{2\text{máx}}$. La duración del intervalo de descanso en ambos grupos varió entre ningún descanso (Brentano et al., 2008) a 30 s (Takeshima et al., 2004) con un intervalo de trabajo en ambos grupos de 30 s. Estos intervalos pueden ser usados como guías de un programa para la mejora del $VO_{2\text{máx}}$ (Waller et al., 2011). La relación entre tiempo de trabajo y el de descanso es un factor importante en la prescripción de un entrenamiento en circuito para las mejoras de la condición aeróbica, ya que puede influir en las adaptaciones y en las recuperaciones. No hay una relación trabajo/descanso estándar, aunque la más utilizada en la literatura científica es una relación 1:1 (30:30 s) o 2:1 (30:15 s) (Romero-Arenas et al., 2011). Por lo tanto, un breve periodo de descanso durante el EC parece aumentar las mejoras en $VO_{2\text{máx}}$.

Además de las mejoras en el $VO_{2\text{máx}}$, otros factores (p. ej. eficiencia energética) influyen en el desarrollo de las tareas de la vida diaria, y la independencia de las personas mayores. La habilidad para caminar de manera eficiente y de forma segura es importante para mantener la independencia (Callisaya, Blizzard, Schmidt, McGinley, & Srikanth, 2010). Sin embargo, el coste energético al caminar en las personas mayores es alto, lo que puede ocasionar una fatiga temprana (Hortobagyi et al., 2009). Esto es debido a un cambio del tipo de fibra muscular con el envejecimiento y a un mayor porcentaje de captación de oxígeno requerida para realizar tareas diarias (Astrand et al., 1973; Waters, Hislop, Perry, Thomas, & Campbell, 1983). Por lo tanto, la eficacia de un programa de entrenamiento para mejorar la salud cardiovascular y la eficiencia energética (producción de adenosín trifosfato con un mínimo trabajo) puede ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares y mejorar la economía de movimiento en individuos de mayor edad.

2.5.5. Efectos del entrenamiento en circuito sobre parámetros funcionales

Es evidente que programas de fuerza mejoran la capacidad funcional de las personas mayores. Ejemplo de ello son, mejoras del equilibrio estático (Marques et al., 2011) y dinámico (Marques et al., 2013), mejoras de la movilidad funcional (Holviala, Sallinen, Kraemer, Alen, & Hakkinen, 2006), mejoras en la velocidad de la marcha (Serra-Rexach et al., 2011). Conseguir estas mejoras con un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas eficiente en el tiempo como es el entrenamiento en circuito, no solo beneficiaría a las personas de forma individual sino que puede repercutir en los sistemas sanitarios provocando un mayor ahorro económico.

2.5.6. Efectos del entrenamiento en circuito sobre la calidad de vida relacionada con la salud

A pesar de la importancia de encontrar estrategias de ejercicio eficaces en el tiempo, como puede ser el entrenamiento en circuito, que mejoren diferentes factores relacionados con la salud; no se han encontrado estudios que valoren el efecto de un programa de entrenamiento en circuito sobre la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud. Parece que un programa de fuerza con sobrecargas no mejora la percepción calidad de vida relacionada con la salud por sí solo (Sillanpaa et al., 2012). Sillanpaa et al. (2012) observaron que solamente el entrenamiento de fuerza con sobrecargas mejoraba la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud cuando se combinó con ejercicio aeróbico. Estos autores observaron que existían correlaciones entre la capacidad cardiorrespiratoria y algunas de las dimensiones de la calidad de vida relacionada con la salud. Por tanto, se puede establecer la hipótesis de que un programa de entrenamiento en circuito en el que se producen aumentos de la capacidad cardiorrespiratoria, pueda provocar también mejoras sobre la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud en personas mayores.

2.5.7. Efectos del entrenamiento en circuito sobre las enfermedades relacionadas con la edad

La inclusión de un entrenamiento de fuerza como parte de un programa de ejercicios para promocionar la salud y prevenir enfermedades ha sido recomendado por la Asociación Americana del Corazón (Pollock et al., 2000), el Colegio Americano de Medicina Deportiva (Pescatello et al., 2004), y la Asociación Americana de Diabetes (Sigal, Kenny, Wasserman, & Castaneda-Sceppa, 2004) como una parte integrante de un estado general de salud y un programa de acondicionamiento. Varios estudios han mostrado los efectos beneficiosos del EC en ancianos con enfermedades relacionadas con la edad. Palevo et al. (2009) demostraron que, después de ocho semanas de EC, pacientes con infarto debido a una disfunción sistólica del ventrículo izquierdo incrementaron un 16% la fracción de eyección, 15% el volumen latido, y la fuerza muscular un 23% de media. Volaklis et al. (2006) combinaron el EC y un programa de ejercicios aeróbicos durante ocho meses. El programa consistió en cuatro sesiones por semana; dos sesiones de ejercicio aeróbico y dos sesiones de entrenamiento de fuerza en circuito. Después de ocho meses los pacientes con enfermedad arteria coronaria mejoraron su condición cardiorrespiratoria ($VO_{2\text{máx}}$ 15,4% y el tiempo de ejercicio 14%), y la fuerza muscular incrementó también de forma significativa en todos los ejercicios una media de 28%.

Los problemas de seguridad, tales como un aumento exagerado de la presión arterial, palpitaciones o síncope han sido una preocupación histórica con el entrenamiento de fuerza en los pacientes con enfermedad cardiovascular (Williams et al., 2007). Evitar contener la respiración y la tensión (maniobra de Valsalva) durante el entrenamiento con pesas puede prevenir el incremento de la presión sanguínea (Evans, 1999). Varios estudios han investigado el efecto del EC sobre la presión sanguínea y la rigidez arterial. Simões et al. (2010) compararon el efecto del EC con intensidades de 23 y 43% del 1RM sobre la respuesta de la presión sanguínea post-ejercicio en sujetos sanos. Ellos observaron una mayor reducción de la presión sanguínea post-ejercicio con una intensidad del 43% del 1RM. Otro estudio (Scher, Ferriolli, Moriguti, Scher, & Lima, 2011) mostró que había una reducción de la presión sanguínea durante los primeros 60 min

después de un entrenamiento de fuerza en circuito con una intensidad del 40% del 1RM con diferentes volúmenes (1 vs. 2 series). Solo un mayor volumen (2 series) provocó una reducción de la presión sanguínea durante las 24 horas tras el EC. En mujeres postmenopáusicas, un entrenamiento en circuito a una intensidad moderada combinado con un entrenamiento aeróbico, llevado a cabo tres días por semana, resultó beneficioso sobre la rigidez arterial y la presión sanguínea (Figueroa, Park, Seo, Sanchez-Gonzalez, & Baek, 2011).

La diabetes mellitus, intolerancia a la glucosa, y la resistencia a la insulina son factores de riesgo de enfermedades de la arteria coronaria. Las contracciones musculares aumentan la captación de glucosa en el músculo esquelético (Miller et al., 1994), formando de ese modo la base para recomendar el entrenamiento de resistencia para los individuos con metabolismo anormal de la glucosa. En pacientes diabéticos tipo II, ocho semanas de entrenamiento en circuito a intensidad moderada (50-60% del 1RM) no fue suficiente para producir cambios en los factores de riesgo metabólicos (Hazley, Ingle, Tsakirides, Carroll, & Nagi, 2010). Sin embargo, en entrenamiento de fuerza en circuito (60-80% de 1RM) combinado con ejercicio aeróbico (55-70% de VO_{2max}) mejoró los factores de riesgo metabólico (p. ej. HbA1c, se redujo un 0,45%; glucosa en sangre, se redujo un 21,6%; circunferencia abdominal, se redujo un 3,0%; el peso corporal, se redujo un 2,1%; presión sistólica, se redujo un 8,0%; y el colesterol total, se redujo un 16,4%) (Fatone et al., 2010).

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. Hipótesis general

El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos similares al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional en la masa libre de grasa y la masa ósea, la fuerza muscular y parámetros funcionales; a su vez, el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito provoca un mayor descenso de la masa grasa corporal, un mayor incremento de la capacidad cardiorrespiratoria y una mejora de la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional.

3.1.2. Hipótesis específicas

Hipótesis 1. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca beneficios en la composición corporal, disminuyendo la masa grasa, y aumentando la masa libre de grasa y la densidad mineral ósea en personas mayores sanas.

Hipótesis 2. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos de la fuerza en las extremidades inferiores y superiores en personas mayores sanas.

Hipótesis 3. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos de la tensión específica en las extremidades inferiores de personas mayores sanas.

Hipótesis 4. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca beneficios sobre el consumo de oxígeno en personas mayores sanas.

Hipótesis 5. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejora la eficiencia energética caminando en personas mayores sanas.

Hipótesis 6. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca un aumento de la movilidad funcional en personas mayores sanas.

Hipótesis 7. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca un aumento de la estabilidad postural en personas mayores sanas.

Hipótesis 8. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca una mejora de la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud en personas mayores sanas.

Hipótesis 9. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca mayor descenso de la grasa corporal que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Hipótesis 10. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos de la masa libre de grasa y de la densidad mineral ósea similares al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y en ambos, los beneficios son mayores que en el grupo control.

Hipótesis 11. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos de la fuerza en la extremidad inferior y superior similares a los provocados por el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y en ambos, dichos incrementos son mayores que los producidos en el grupo control.

Hipótesis 12. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos en la tensión específica en el miembro inferior similares a los provocados por el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y en ambos, dichos incrementos son mayores que los producidos en el grupo control.

Hipótesis 13. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca mayores adaptaciones cardiorrespiratorias que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Hipótesis 14. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca un mayor aumento en la eficiencia energética al caminar que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Hipótesis 15. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejora movilidad funcional de personas mayores de forma similar al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y en ambos, los beneficios son mayores que en el grupo control.

Hipótesis 16. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejora la estabilidad postural de personas mayores de forma similar al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y en ambos, los beneficios son mayores que en el grupo control.

Hipótesis 17. El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca un mayor aumento de la calidad de vida relacionada con la salud que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. Objetivo general

Determinar los efectos del entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal, la fuerza, la capacidad cardiorrespiratoria, parámetros funcionales y la calidad de vida relacionada con la salud en personas mayores sanas; y comparar estos efectos con los provocados por un programa de entrenamiento de fuerza tradicional y con un grupo control.

3.2.2. Objetivos específicos

Objetivo 1. Evaluar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal en personas mayores sanas.

Objetivo 2. Determinar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad sobre la fuerza en las extremidades inferiores y superiores en personas mayores sanas.

Objetivo 3. Valorar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad sobre la tensión específica de las extremidades inferiores en personas mayores sanas.

Objetivo 4. Analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad sobre el consumo de oxígeno en personas mayores sanas.

Objetivo 5. Evaluar si un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejora la eficiencia energética caminando en personas mayores sanas.

Objetivo 6. Determinar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad sobre la movilidad funcional en personas mayores sanas.

Objetivo 7. Valorar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad sobre la estabilidad postural en personas mayores sanas.

Objetivo 8. Analizar si un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca mejoras en la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud en personas mayores sanas.

Objetivo 9. Comprobar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca mayor descenso de la grasa corporal que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Objetivo 10. Verificar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos de la masa libre de grasa y de la densidad mineral ósea similares al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y si en ambos, los beneficios son mayores que en el grupo control.

Objetivo 11. Constatar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos de la fuerza en la extremidad inferior y superior similares a los provocados por el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y si en ambos, dichos incrementos son mayores que los producidos en el grupo control.

Objetivo 12. Comprobar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca incrementos en la tensión específica en el miembro inferior similares a los provocados por el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y si en ambos, dichos incrementos son mayores que los producidos en el grupo control.

Objetivo 13. Examinar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca mayores adaptaciones cardiorrespiratorias que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Objetivo 14. Verificar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca un mayor aumento en la eficiencia energética al caminar que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Objetivo 15. Constatar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejora movilidad funcional de personas mayores de forma similar al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y si en ambos, los beneficios son mayores que en el grupo control.

Objetivo 16. Comprobar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejora la estabilidad postural de personas mayores de forma similar al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y si en ambos, los beneficios son mayores que en el grupo control.

Objetivo 17. Verificar si el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provoca un mayor aumento de la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que en el grupo control.

IV. METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

En este apartado se expone la metodología llevada a cabo durante el estudio, a fin de conseguir los objetivos marcados e intentar explicar las hipótesis establecidas. Cuatro son los sub-apartados que le dan sentido: diseño de la investigación, participantes, procedimiento y análisis estadístico; los cuales se describen con detalle a continuación.

4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación se planteó un estudio cuasi-experimental, intra- e inter-sujeto, con carácter longitudinal, con pre- y post-test.

En la variable independiente se plantearon tres niveles:

- i.- Programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito (GEC);*
- ii.- Programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional (GET);*
- iii.- Sin entrenamiento, representado por el grupo control (GC).*

La finalidad del método experimental aplicado es establecer relaciones causa-efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes analizadas, que son:

- i.- Composición corporal*
 - Masa grasa total;*
 - Porcentaje de grasa corporal;*
 - Masa libre de grasa total;*
 - Contenido mineral óseo total;*
 - Densidad mineral ósea total.*

ii.- Fuerza isocinética máxima

- *Torque pico isocinético concéntrico en la flexión/extensión de la articulación del codo y la rodilla a una velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $270^{\circ}\cdot s^{-1}$.*

*iii.- Tensión específica de las extremidades inferiores**iv.- Parámetros cardiorrespiratorios, y eficiencia energética*

- *Consumo de oxígeno relativo a la masa libre de grasa en el minuto 1, 3 y 5 tras el comienzo de un test incremental sobre tapiz rodante;*
- *Consumo de oxígeno relativo a la masa libre de grasa en el umbral ventilatorio dos;*
- *Consumo de oxígeno pico relativo a la masa libre de grasa;*
- *Gasto energético en el minuto 1, 3, 5 y 7 tras el comienzo de un test incremental sobre tapiz rodante.*

v.- Movilidad funcional

- *Tiempo empleado en realizar el test de movilidad funcional «Timed Up and Go».*

vi.- Estabilidad postural

- *Tiempo de transición;*
- *Calidad de transición;*
- *Porcentaje de aciertos;*
- *Área de balanceo.*

vii.- Calidad de vida relacionada con la salud

- *Función física;*
- *Rol físico;*
- *Dolor corporal;*
- *Salud general;*

- Vitalidad;
- Función social;
- Rol emocional;
- Salud mental;
- Componente sumario físico;
- Componentes sumario mental.

Con el fin de mantener constantes factores que pudieran afectar a las variables dependientes se establecieron las siguientes variables de control:

- Nivel de actividad física;
- Hábitos alimentarios;
- Asistencia.

El estudio se dividió en cuatro fases bien diferenciadas, como se puede observar en la Figura 5. Una fase de familiarización, una fase de pre-test, una fase experimental y una fase de post-test.

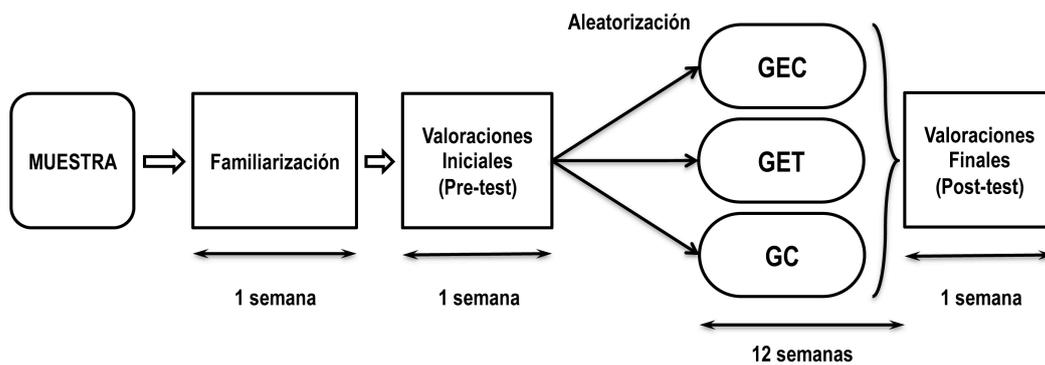


Figura 5. Diseño de la investigación.

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional; GC: grupo control.

Tras las valoraciones iniciales se realizó la distribución de los participantes a cada uno de los niveles de la variable independiente de forma aleatoria ajustando por edad, género, índice de masa corporal, nivel de actividad física, consumo de oxígeno pico relativo y producción de fuerza isocinética (torque pico concéntrico medido a la velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$). Dicha distribución se realizó de manera que los participantes no tuvieron la posibilidad de interferir sobre la asignación a uno u otro grupo.

4.2. PARTICIPANTES

Formaron parte del presente estudio personas sanas, no entrenadas, con una edad comprendida entre 55 y 75 años. La selección de la muestra se realizó de forma no probabilística. Los sujetos interesados en participar en el estudio atendieron voluntariamente al llamamiento de los investigadores (que se realizó mediante carteles), en los centros de salud y centros de mayores de las localidades de La Ñora y Guadalupe. Ambas, pedanías pertenecientes al municipio de Murcia.

Todos los interesados fueron invitados a las instalaciones de la universidad donde se les informó (verbalmente y por escrito) de las actividades a realizar, de las características de los protocolos, contraindicaciones de los test, beneficios del entrenamiento y posibles lesiones, y responsabilidad de los investigadores. Además, se les explicó que en cualquier momento podrían abandonar el estudio, si así lo deseaban, sin tener que dar ningún tipo de justificación y sin que ello desencadenara perjuicio alguno para su persona. Tras la explicación, cumplieron un consentimiento informado (ANEXO I) que fue firmado por todos los participantes antes de comenzar. En el mismo, se detalló que el estudio se realizó de acuerdo a la Declaración de Helsinki (1964, revisada en 2001), y que se habían tenido en cuenta todos los aspectos éticos exigidos por el Comité Ético de la Universidad Católica San Antonio de Murcia. Asimismo, se les especificó que la información que facilitaran y la obtenida como consecuencia de las exploraciones complementarias a las que se iban a someter pasarían a formar parte de un fichero automatizado, con la finalidad de investigación y docencia en

las áreas de salud, actividad física y deporte, en cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

Tras firmar el consentimiento informado se les realizó una anamnesis clínica, exploración física y un electrocardiograma basal de 12 derivaciones por parte de personal médico cualificado, y se valoró el nivel de actividad física de los participantes.

4.2.1. Criterios de inclusión

El requisito establecido para la selección de los participantes fue:

- Edad comprendida entre 55 y 75 años.

4.2.2. Criterios de exclusión

Debido al carácter específico del proyecto y al programa de ejercicio físico en el que los sujetos iban a participar, que incluía la realización de pruebas de valoración de la condición física, se establecieron los siguientes criterios de exclusión:

- Antecedentes personales de patologías cardiovasculares, neurológicas, respiratorias o musculo-esqueléticas que les incapacitara para la actividad física;
- Antecedente de fractura osteoporótica;
- Presencia de enfermedad respiratoria infecto-contagiosa en el momento de inclusión;
- Presencia de disfunción cognitiva que dificultara la participación en el programa;
- La toma de medicación o ayudas ergo-génicas que pudieran afectar a las variables dependientes.

4.3. PROCEDIMIENTO

Previo a la recogida de datos y al inicio del programa de entrenamiento, los participantes llevaron a cabo una sesión de familiarización con los protocolos de evaluación. A su vez, se mostraron las pautas que debían seguir los participantes antes y durante la realización de las evaluaciones: llevar ropa deportiva, calzado cómodo, no tomar bebidas estimulantes, y no haber realizado actividad física intensa 24-36 horas antes de las evaluaciones.

Las valoraciones se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad Católica San Antonio de Murcia, donde se encontraban los instrumentos necesarios y el ambiente adecuado para realizar las pruebas. Los participantes fueron distribuidos en dos turnos, realizando los test iniciales y finales siguiendo la misma secuencia y respetando la misma franja horaria (Tabla 1).

Tabla 1. Periodización de las pruebas.

DÍA DE LA SEMANA	TURNOS	PRUEBAS
Lunes	Turno 1	SF-36 DEXA
Martes	Turno 2	Timed Up and Go Fuerza Isocinética
Jueves	Turno 1	Estabilometría
Viernes	Turno 2	Prueba de esfuerzo

Tanto las valoraciones iniciales como finales fueron realizadas por los mismos investigadores. Cada uno era responsable de una de las pruebas, encargándose de explicar la ejecución del test a los participantes, de hacer una demostración práctica (si fuera necesario) y de la recogida de los datos. Éstos habían sido previamente instruidos en el uso y calibración de los instrumentos de medida que iban a utilizar. Todos los post-test realizados fueron ejecutados por investigadores que desconocían a qué grupo pertenecían los participantes.

4.3.1. Variables independientes

Los programas de entrenamiento tuvieron una duración de 12 semanas. Ambos grupos experimentales entrenaron dos veces por semana, en días alternos (Lunes y Jueves o Martes y Viernes), con intensidades y volúmenes de entrenamiento similares. Debido a que el objetivo principal del estudio fue el de comparar varias formas de entrenamiento de fuerza entre sí, y el de comprobar el efecto absoluto del entrenamiento, se incluyó un grupo control sin entrenamiento específico alguno.

Las sesiones de entrenamiento se llevaron a cabo en la sala de musculación del Club Deportivo Horizonte situado en la localidad de La Ñora, Murcia (Figura 6). El equipamiento para realizar las sesiones de entrenamiento fue un modelo BH Fitness (BH Fitness, Vitoria, España).



Figura 6. Participantes en una sesión de entrenamiento.

Ambos programas de entrenamiento realizaron una periodización ondulatoria, trabajaron con la misma carga (6RM) y realizaron los mismos ejercicios (Figura 7).

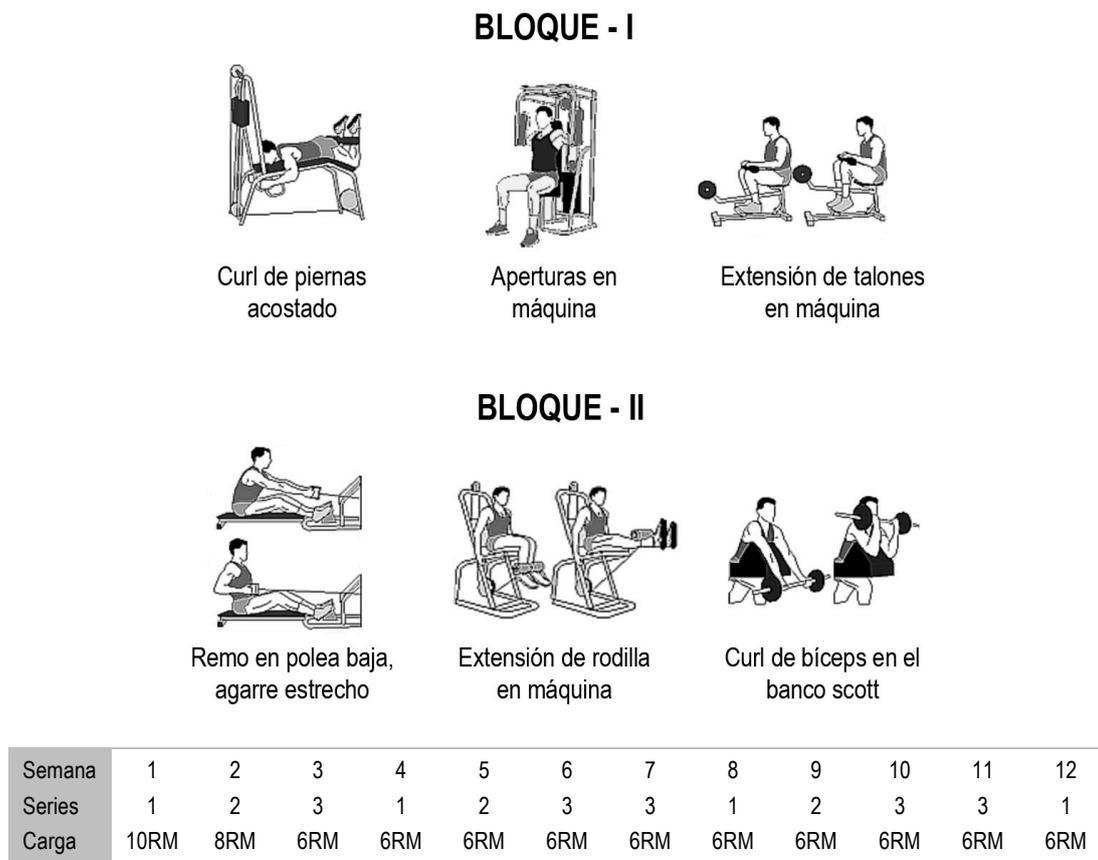


Figura 7. Ejercicios y distribución de la carga de entrenamiento.

Los dos grupos experimentales (GEC y GET) realizaron el mismo protocolo de calentamiento. Éste consistía en una parte general, con 8 min caminando de forma vigorosa a la vez que se realizaba movilidad articular y 5 min de estiramientos activos de los grupos musculares implicados en el entrenamiento; y una parte específica, en la cual los participantes realizaban dos series de tres

ejercicios (Bloque I: curl de piernas acostado, aperturas en máquina y extensiones de talones sentado en máquina) utilizando la siguiente secuencia: 12 repeticiones al 50% del 6RM (la carga que provocaba el fallo después de 6 repeticiones), 1 min de descanso; 10 repeticiones al 75% del 6RM, 2 min de descanso; y a continuación realizaron la primera serie de entrenamiento. La carga de 6RM fue ajustada para las series posteriores aproximadamente en un 2% si los participantes realizaban ± 1 repetición o en un 5% si los sujetos realizaban ± 2 repeticiones.

Tras la ejecución del bloque I de ejercicios los participantes descansaron 5 min, y realizaron la misma secuencia de calentamiento con los ejercicios de bloque II (remo en polea baja con agarre estrecho, extensión de rodilla y curl de bíceps en banco scott), para posteriormente realizar el protocolo de entrenamiento.

4.3.1.1. Programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional

En cada sesión los sujetos levantaban pesos que les permitieran desarrollar solamente seis repeticiones (6RM, ~85-90% del 1RM). La fase excéntrica de cada ejercicio fue desarrollada aproximadamente en 3 s, mientras que la fase concéntrica se realizaba a máxima velocidad. La secuencia fue estandarizada en las primeras semanas de entrenamiento, y la fase excéntrica fue controlada transmitiendo feedback a los participantes. Una vez completados los tres primeros ejercicios, los participantes completaron los tres ejercicios restantes con la misma secuencia de calentamiento (~5 min). Los participantes desarrollaban los ejercicios uno tras otro con un descanso de 3 min entre cada serie (Figura 8a). Estos ejercicios fueron elegidos para enfatizar los grandes y pequeños grupos musculares, usando tanto ejercicios mono-articulares como poliarticulares, en base a las recomendaciones del ACSM (2011). Los participantes estaban supervisados por instructores experimentados para asegurar que la fatiga voluntaria se conseguía de forma segura, y el control del descanso fuera estricto. El tiempo total de entrenamiento en este grupo fue de 45 min (1 serie) a 87 min (3 series), aproximadamente.

4.3.1.2. Programa de entrenamiento en circuito con altas cargas

En entrenamiento desarrollado por el grupo que entrenaba en circuito solamente se diferenciaba del grupo que entrenaba de forma tradicional en el tiempo de descanso y en la secuencia de ejercicios. Mientras en el grupo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional realizaban los ejercicios uno tras otro con un descanso de 3 min entre cada serie, los participantes que realizaban el entrenamiento en circuito realizaban dos mini-circuitos con una separación de cinco minutos (Figura 8b). En el primer circuito los participantes realizaban los ejercicios del bloque I, mientras que el segundo circuito los participantes realizaban los ejercicios correspondientes al bloque II. Aproximadamente 35 s separaban cada ejercicio, tiempo suficiente para permitir trasladarse de un ejercicio a otro de manera segura. El calentamiento, la intensidad y el volumen de los ejercicios fue el mismo que el que utilizaron los participantes que realizaron el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional. De nuevo, los participantes fueron supervisados por instructores experimentados para asegurar que la fatiga voluntaria se conseguía de forma segura, y el control del descanso fuera estricto. El tiempo total de entrenamiento en este grupo fue de 35 min (1 serie) a 47 min (3 series), aproximadamente.

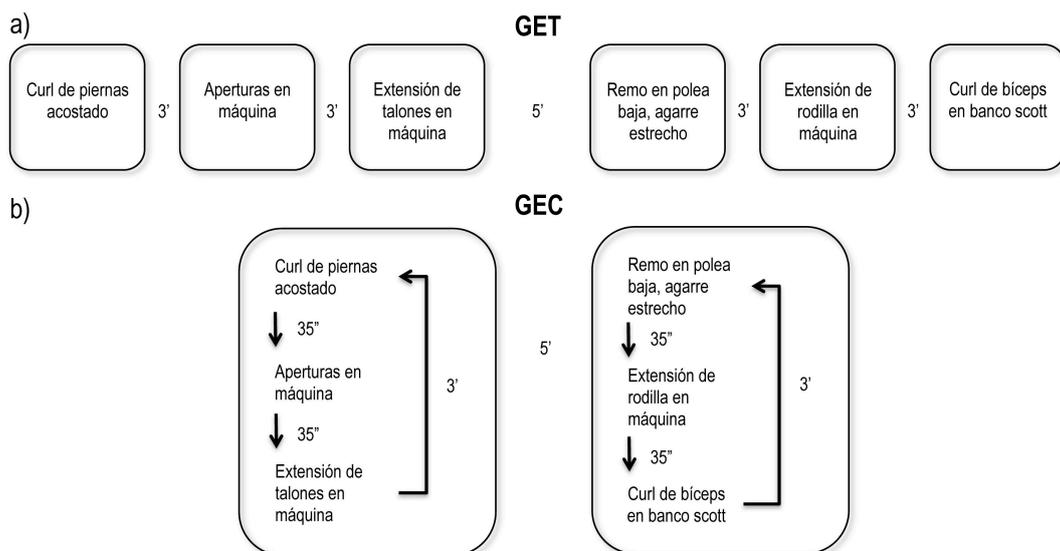


Figura 8 a y b. Organización de los protocolos de entrenamiento sometidos a estudio.

4.3.2. Variables dependientes

4.3.2.1. Composición corporal

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

Para llevar a cabo un adecuado análisis de la composición corporal se determinó:

- *Masa grasa total*: representa el contenido total de materia grasa de los participantes. Se expresó en kilogramos.
- *Porcentaje de grasa corporal*: representa la materia grasa corporal en relación a la masa total del cuerpo. Se expresó como porcentaje.
- *Masa libre de grasa*: representa la masa no ósea y libre de grasa total que contiene el cuerpo (masa corporal - [masa grasa + masa ósea]). Se expresó en kilogramos.
- *Contenido mineral óseo*: representa el contenido óseo total de cada participante. Se expresó en gramos.
- *Densidad mineral ósea*: representa el contenido óseo de cada participante por unidad de área medida. Se expresó en gramos por centímetro cuadrado.

Las variables arriba mencionadas fueron evaluadas por Absorciometría Dual de rayos-X (DEXA). La DEXA es el cálculo de la composición del cuerpo humano a través de la evaluación de las diferentes densidades. La masa libre de grasa, la masa grasa y el contenido mineral óseo (CMO) fueron calculados del análisis total del escáner del cuerpo completo. La densidad mineral ósea (DMO; $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) se calculó usando la fórmula $\text{DMO} = \text{CMO} \times \text{area}^{-1}$. La masa libre de grasa se asumió como equivalente a la masa muscular.

El instrumento utilizado para el análisis fue el densitómetro (Figura 9) modelo XR-46 (Norland Corp., Fort Atkinson, WI, EEUU), que fue calibrado al inicio de cada sesión, siguiendo las recomendaciones del fabricante, utilizando un fantoma con 77 combinaciones de hueso y tejido blando. El software utilizado para el análisis fue el propuesto por el fabricante, Illuminatus DXA 4.4.0 (Visual MED, Inc. and Norland a CooperSurgical Company).

Antes de la realización de la densitometría, se procedió a la medición de la estatura y de la masa corporal de los participantes. Para ello se utilizó una báscula-tallímetro telescópico (SECA 778, Hamburgo, Alemania). En la medición de la estatura, el sujeto permaneció de pie, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro. A partir de esta posición, el sujeto realizó una inspiración profunda en el momento de la medida, manteniendo el sujeto en el *plano de Frankfort* (línea imaginaria que pasa por el borde inferior de la órbita ocular y por el punto más alto del conducto auditivo externo, paralela al suelo y perpendicular al eje longitudinal del cuerpo). Para la masa corporal el sujeto se colocó en el centro de la báscula, en posición estándar erecta y de espaldas al registro de la medida, sin que el cuerpo estuviera en contacto con nada a su alrededor.

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



Figura 9. Densitómetro modelo Norland XR-46, y báscula tallímetro modelo SECA 778.

4.3.2.2. Fuerza isocinética máxima

La fuerza muscular es la tensión que un músculo o grupo muscular puede ejercer en un esfuerzo máximo, y se puede cuantificar por el peso máximo que se puede levantar una sola vez (el peso equivalente a una repetición máxima), la fuerza máxima ejercida en una contracción isométrica, o la fuerza máxima que se puede ejercer a una velocidad angular determinada.

En el presente trabajo se realizó una valoración isocinética para la articulación del codo y de la rodilla, y se evaluó:

- *Torque pico isocinético*: Torque pico concéntrico en la flexión/extensión de la articulación del codo y de la rodilla a una velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $270^{\circ}\cdot s^{-1}$. Se expresó en Newton multiplicado por metro.

El instrumento utilizado fue un dinamómetro isocinético (Figura 10) Biodex 3 System Pro (Biodex Medical Systems, Shirley, NY, EEUU). Éste se calibró al comienzo de cada test siguiendo las recomendaciones del fabricante. Se realizó un test de corrección de la gravedad a cada participante para evitar los efectos de la misma sobre los resultados obtenidos. Para el análisis, se seleccionó la repetición en la que se consiguió el torque máximo en la fase concéntrica.



Figura 10. Dinamómetro isocinético Biodex 3 System Pro.

Para la realización del test se seleccionó la articulación de la rodilla y del codo del miembro dominante como eje de rotación, que fueron alineados con el centro de rotación del dinamómetro. Se utilizó como punto de referencia para la alineación con el eje de rotación del dinamómetro el maléolo medial de la tibia y el epicóndilo del húmero. El brazo de palanca se fijó en la parte próxima al tobillo para las pruebas de flexión/extensión de rodilla, y en las pruebas de

flexión/extensión del codo los participantes agarraban una empuñadura con la mano. El rango articular fue de 85° a 10° de extensión, siendo 0° extensión completa.

Los participantes, previo a la valoración de la fuerza isocinética, realizaron un calentamiento específico que consistió en 5 min de activación vegetativa sobre un cicloergómetro, y 5 min de estiramientos dinámicos del tren inferior y/o superior. Tras este calentamiento, se posicionaron sobre la silla con el respaldo fijado a 100°, sujetos por la cintura, los hombros y la parte distal del muslo y/o del brazo, para evitar el movimiento del cuerpo. Previo a la realización de cada test, los participantes realizaron tantas repeticiones, a la velocidad seleccionada, como creyeron conveniente (entre 3 y 5 repeticiones), a una intensidad sub-máxima. Se realizaron tres repeticiones máximas para la articulación del codo y cinco para la articulación de la rodilla (siendo instruidos para generar la máxima fuerza posible y lo más rápidamente posible). Se dejaron 90 s de recuperación (Brown, 2000) entre cada velocidad (90°·s⁻¹ y 270°·s⁻¹). El tiempo entre la valoración del miembro superior e inferior se mantuvo constante a 15 min, lo que permitió el tiempo suficiente para el establecimiento de los controles posteriores.

4.3.2.3. Tensión específica de las extremidades inferiores

La tensión específica se define como un importante indicador del rendimiento muscular (fuerza por unidad de volumen o masa muscular) (Lindle et al., 1997). En el campo de la geriatría, este índice está relacionado con el mantenimiento de la autonomía funcional.

La tensión específica fue utilizada como variable que expresa la calidad muscular (Barbat-Artigas, Rolland, Zamboni, & Aubertin-Leheudre, 2012), y fue calculada por el cociente entre los valores individuales de torque pico a 90°·s⁻¹ del miembro dominante de la extremidad inferior y la masa libre de grasa del miembro dominante de la extremidad inferior (Lynch et al., 1999). Se expresó en Newton multiplicado por metro partido por kilogramos fuerza.

4.3.2.4. *Parámetros cardiorrespiratorios, y eficiencia energética*

Los analizadores de gases respiratorios permiten cuantificar una serie de parámetros ergoespirométricos que nos aportan información acerca del comportamiento de los aparatos cardiovascular y respiratorio y del metabolismo energético durante el ejercicio físico, de gran utilidad y aplicación en diferentes áreas de la medicina deportiva (Arós et al., 2000).

Se realizó una prueba incremental sobre un tapiz rodante, y las variables evaluadas fueron:

- *Consumo de oxígeno relativo a la masa libre de grasa en el minuto 1, 3 y 5 tras el comienzo de un test incremental sobre tapiz rodante:* representa el volumen de oxígeno en relación a la masa libre de grasa en el minuto 1, 2 y 3 tras el comienzo de la prueba. Se expresó en mililitros partido de kilogramos de masa libre de grasa por minuto.
- *Consumo de oxígeno relativo a la masa libre de grasa en el umbral ventilatorio dos:* representa el volumen de oxígeno detectado en la prueba una vez alcanzado el umbral ventilatorio dos o umbral anaeróbico en relación a la masa libre de grasa. Se expresó en mililitros partido de kilogramos de masa libre de grasa por minuto.
- *Consumo de oxígeno pico relativo a la masa libre de grasa:* representa el máximo volumen de oxígeno detectado en la prueba o el valor máximo de dicha variable en relación a la masa libre de grasa, a partir del cual no se produce incremento del mismo aunque se incremente la intensidad del esfuerzo. Se expresó en mililitros partido de kilogramos de masa libre de grasa por minuto.
- *Gasto energético en el minuto 1, 3, 5 y 7 tras el comienzo de un test incremental sobre tapiz rodante:* representa la energía que el participante gasta por minuto en un momento concreto tras el inicio de la prueba. Se expresó en kilocalorías por minuto.

Los instrumentos utilizados para el desarrollo de la prueba fueron, un analizador de gases (Vmax 29c, SensorMedics, Yorba Linda, EEUU), un pulsómetro para monitorizar la frecuencia cardiaca (Polar S610, Kempele,

Finlandia) y un tapiz rodante (Treadmill HC1200, Technogym SpA, Gambettola, Italia). El analizador de gases precisaba calibración antes de cada uno de los test; para el volumen y el flujo se utilizó una jeringuilla de 3 l de capacidad (3 liter calibrated syringe-d, SensorMedics, Yorba Linda, EEUU), para la calibración de los gases se tomó como referencia una mezcla de gases (CO_2 5% y O_2 15%) y la del aire atmosférico.

Previo al desarrollo de la prueba, el participante fue monitorizado electrocardiográficamente, es decir, se situaban electrodos adhesivos en las distintas posiciones precordiales clásicas (V1: cuarto espacio intercostal derecho, junto al esternón; V2: cuarto espacio intercostal izquierdo, junto al esternón, V3: en un lugar equidistante entre V2 y V4; V4: quinto espacio intercostal izquierdo, en la línea medio-clavicular; V5: quinto espacio intercostal izquierdo, en la línea axilar posterior; V6: quinto espacio intercostal izquierdo, en la línea axilar media), mientras que los electrodos que debían situarse en los miembros inferiores se colocaron en ambos hipocondrios y los correspondientes a los miembros superiores se situaron en el segundo espacio intercostal de la línea medio-clavicular de ambos lados. Estos electrodos se colocaron mediante un cable al transductor de señales y amplificador, la señal de salida era conducida hacia un ordenador personal y procesada por un programa especializado con el que se vigilaba a tiempo real la actividad eléctrica cardíaca durante toda la prueba. El conjunto de cables y electrodos eran sujetos al cuerpo de los participantes mediante una venda tubular de malla elástica.

De igual forma, los participantes fueron preparados para el análisis de los gases respiratorios (respiración a respiración, en un circuito abierto) durante el desarrollo de la prueba. Para ello, se colocaba una mascarilla de respiración que cubría la nariz y la boca, con un sistema de sujeción que impide fugas a través de la unión mascarilla-piel. Acoplada a ella, se instalaba el flujómetro del que parten diversos tubos y cables que conducen las señales al analizador de gases (Figura 11). Igualmente, los resultados de dicho procedimiento aparecían en tiempo real en el monitor.



Figura 11. Mascarilla de respiración a la cual se le acopla el flujómetro y las conexiones con el analizador de gases.

Una vez acabada la preparación del participante, se procedió a la realización del test. El protocolo utilizado fue el protocolo de Naughton sobre un tapiz rodante. Éste protocolo se divide en fases de 2 min con incrementos de 1 MET entre las mismas después de un periodo de calentamiento de 1 min (Chaitman, 2008). Todos los participantes fijaron sus manos, durante toda la prueba, al pasamanos delantero del tapiz rodante, con el fin de evitar posibles caídas durante la misma (Figura 12). Tras un periodo de 1 min de calentamiento a una velocidad de $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e inclinación del 0%, aumentó la velocidad a $5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, manteniéndose constante durante el resto de la prueba, aumentando únicamente la pendiente cada 2 min como muestra la Figura 13. La prueba estuvo supervisada en todo momento por un médico especialista. Se alentó a los participantes a continuar el ejercicio el mayor tiempo posible. Los criterios fisiológicos y electrocardiográficos para poner fin a la prueba fueron coherentes con las directrices de las Guías de Test y Prescripción de ejercicio del Colegio Americano de Medicina Deportiva (Thompson, Gordon, & Pescatello, 2009).



Figura 12. Participantes sobre el tapiz rodante durante el protocolo de Naughton.

Estadio	Tiempo (min)	Velocidad (km·h ⁻¹)	Pendiente (°)
Calentamiento	1	3	0
1	2	5,5	3,2
2	2	5,5	6,4
3	2	5,5	9,7
4	2	5,5	12,9
5	2	5,5	16,1
6	2	5,5	19,3
7	2	5,5	22,5
8	2	5,5	25,7
9	2	5,5	29,0
10	2	5,5	32,2
11	2	5,5	35,4

Figura 13. Detalles del protocolo de Naughton.

Durante el test de ejercicio, los participantes respiraban a través de una máscara, la cual permitía analizar el O_2 y CO_2 expirado usando un sistema automático de análisis de gases. La ventilación, (VE), el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de dióxido de carbono (VCO_2) fueron determinados por el aire expirado. Para el análisis, los datos de VE, VO_2 y VCO_2 fueron promediados cada 20 s. El VO_2 pico fue definido como el promedio de VO_2 durante el último minuto del test de ejercicio. El segundo umbral ventilatorio (VT) fue determinado por dos fisiólogos experimentados de forma independiente usando una combinación de puntos de inflexión en la relación entre el VO_2 y el VCO_2 (método V-slope) y un incremento sistemático en el VE/ VO_2 sin un simultáneo incremento en VE/ VCO_2 . El intercambio gaseoso fue utilizado para calcular la energía gastada durante la prueba con la fórmula de Weir (Weir, 1949).

4.3.2.5. Movilidad funcional

Con el objetivo de evaluar la movilidad funcional utilizamos el test «Timed Up and Go». El Timed Up and Go Test (TUGT) es un indicador de movilidad básica, y mide el tiempo requerido por una persona para levantarse de una silla con apoyabrazos, caminar 3 metros, volver a la silla y sentarse. Según Podsiadlo y Richardson (1991), el tiempo requerido para completar el TUGT correlaciona con el nivel de movilidad funcional (Escala de equilibrio de Berg ($r = -0,81$); velocidad de la marcha ($r = -0,61$)). Lo cual indica que evalúa el equilibrio en gestos que se realizan en las tareas de la vida diaria (Podsiadlo & Richardson, 1991).

Para la medición del tiempo empleado en recorrer la distancia se utilizó una barrera de células fotoeléctricas (BioMedic, Barcelona, España). Además se usó una silla de 44-47 cm de altura y con reposabrazos a 65 cm.

El participante estaba cómodamente sentado en una silla, y tras una indicación verbal se iniciaba la prueba que consistió en levantarse y caminar en línea recta a lo largo de 3 m a su paso natural, girar 180° y volver en la dirección antes recorrida para sentarse nuevamente. La prueba se ensayó dos veces hasta que la sistemática quedó clara para el participante. A continuación se realizó la

prueba definitiva, la cual se utilizó para el análisis. No se prestó asistencia física. Los participantes comenzaron con la espalda apoyada en el respaldo de la silla y los brazos descansando en el reposabrazos. El cronómetro se puso en marcha cuando el participante despegaba la espalda del respaldo de la silla y se detuvo en el momento en el que el participante apoyaba de nuevo la espalda en el respaldo de la silla para sentarse (Figura 14).

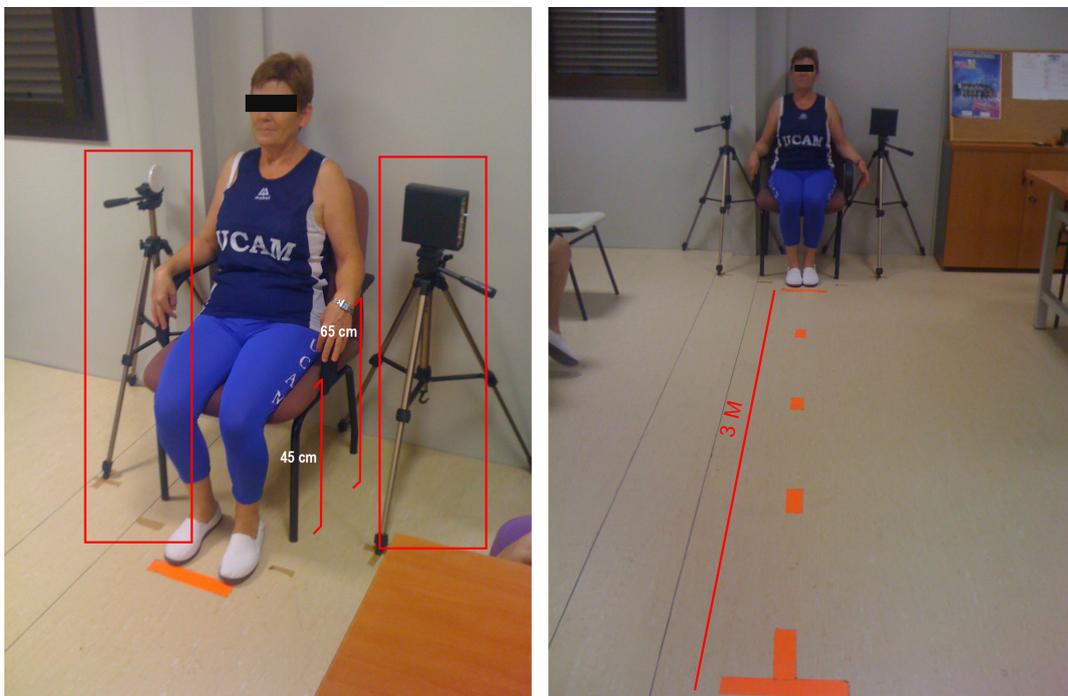


Figura 14. Colocación inicial de los participantes al comienzo del test «Timed Up and Go».

3.4.2.6. Estabilidad postural

El control postural se define como la capacidad para mantener la proyección del centro de gravedad del cuerpo dentro de los límites de la base de sustentación durante una posición tranquila y en movimiento (Shumway-Cook & Woollacott, 2000).

Se valoraron las siguientes variables estabilométricas:

- *Tiempo de transición*: se refiere al tiempo transcurrido desde que comienza la transición hasta alcanzar la diana objetivo. Se expresó en segundos.
- *Calidad de transición*: representa la rectitud de la trayectoria seguida por el sujeto hasta alcanzar la diana objetivo. Se expresó en porcentaje.
- *Porcentaje de aciertos*: representa el tiempo que el sujeto se encuentra dentro de la diana actual respecto del tiempo de conteo. Se expresó en porcentaje.
- *Área de balanceo*: expresa el área aproximada en la que se produce el balanceo del sujeto. Se expresó en centímetros cuadrados.

Para la valoración estabilométrica se utilizó una plataforma de fuerzas extensométrica (IBV Dinascán 600M, Valencia, España). Se registró a una frecuencia de muestreo de 20 Hz, la duración del test fue de 40 s, el número de dianas fue de 4, y la zona de trabajo tanto en el eje X como en el eje Y fue de 70 mm (Figura 15). Los participantes se posicionaron sobre la plataforma, con los talones separados por 1 cm y con un ángulo de 30° entre los pies. Con la señal de inicio los participantes debían dirigir su centro de gravedad con la mayor brevedad y rectitud posible a las dianas que iban cambiando de color. La prueba se ensayó dos veces para que la sistemática le quedara clara al participante, y a continuación se realizaba la prueba definitiva. El software calculó los parámetros referentes a las transiciones, en las que se analizaba la trayectoria seguida por el sujeto hasta alcanzar una diana; dianas en las que se analizaba la permanencia del participante en el interior de la misma. El cálculo de las variables fue realizado por el software, recomendado por el fabricante (Estabil-IBV versión 3.1, Valencia, España).

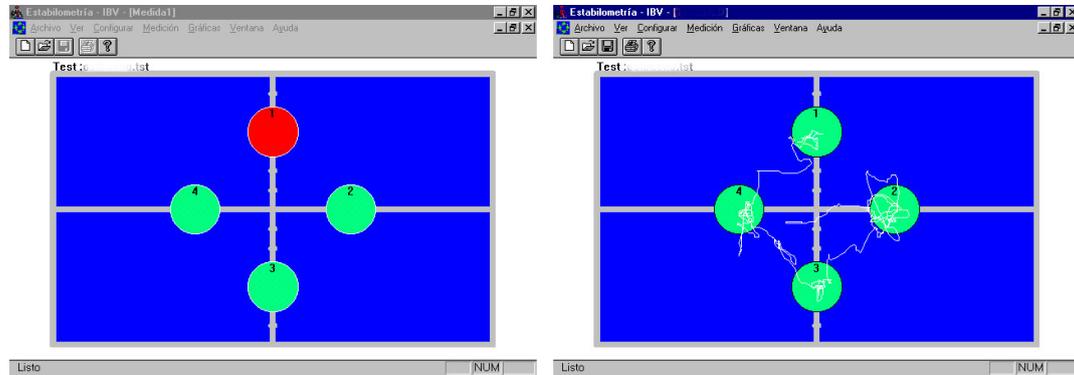


Figura 15. Software de la prueba estabilométrica (Estabil-IBV versión 3.1, Valencia, España).

4.3.2.7. Calidad de vida relacionada con la salud

La calidad de vida es un concepto que hace alusión a varios niveles, que podría englobarse en una serie de dimensiones que el sujeto percibe de forma subjetiva y que en nuestro caso se relacionan con la salud. En la presente tesis, para valorar la calidad de vida relacionada con la salud se utilizó la versión española del cuestionario SF-36.

El cuestionario valora los estados tanto positivos como negativos de la salud a través de 36 ítems. El cuestionario tiene ocho dimensiones que posteriormente se agrupan en dos sumarios, el sumario físico y el sumario mental (Vilagut et al., 2005). Las escalas del SF-36 están ordenadas de forma que a mayor puntuación mejor es el estado de salud. Cada dimensión puede ser puntuada en una escala que va desde el 0 (el peor estado de salud para esa dimensión) hasta el 100 (el mejor estado de salud). Para el cálculo de las ocho dimensiones y los sumarios físico y mental, se tuvieron en cuenta las indicaciones del Institut Municipal d'Investigació Mèdica de Barcelona. La codificación de los datos se realizó utilizando una sintaxis para el software SPSS versión 18.0 (IBM corp., New York, EEUU).

A continuación se describe la interpretación de las puntuaciones de cada dimensión (Vilagut et al., 2005):

- *Función física*: tener bajas puntuaciones en esta dimensión significa tener mucha limitación para realizar todas las actividades físicas (incluido bañarse o ducharse) debido a la salud. Tener altas puntuaciones implica que puede llevar a cabo todo tipo de actividades físicas sin limitación por la salud.
- *Rol físico*: tener bajas puntuaciones en esta dimensión implica tener problemas con el trabajo y otras actividades diarias debido a la salud física. Tener puntuaciones altas implica no tener problemas en dichas actividades a consecuencia de la salud.
- *Dolor corporal*: las puntuaciones bajas en esta dimensión se interpretan como dolor muy intenso y muy limitante. Las puntuaciones altas se interpretan como ausencia de dolor y limitación debida al mismo.
- *Salud general*: bajas puntuaciones en esta variable implican que el sujeto valora como mala su propia salud y cree que es posible que empeore. De las puntuaciones altas se infiere que el sujeto califica su salud como excelente.
- *Vitalidad*: puntuaciones bajas en esta dimensión se interpretan como que el sujeto se siente cansado y exhausto todo el tiempo. Tener puntuaciones altas implica que el sujeto se siente dinámico y lleno de energía todo el tiempo.
- *Función social*: tener bajas puntuaciones en esta dimensión implican que los problemas sociales o emocionales interfieren muy frecuentemente con las actividades sociales normales. Tener puntuaciones altas implica que lleva a cabo las actividades sociales sin ninguna interferencia debida a problemas físicos o emocionales.
- *Rol emocional*: tener puntuaciones bajas se interpreta como que el sujeto tiene problemas en el trabajo y otras actividades diarias debido a problemas emocionales. Tenerlas altas se interpreta como que no tiene ningún problema con el trabajo y otras actividades diarias debido a dichos problemas.

- *Salud mental*: tener bajas puntuaciones implica que el sujeto tiene angustia y depresión todo el tiempo. Las puntuaciones altas se interpretan como que el sujeto tiene sentimientos de felicidad, tranquilidad y calma durante todo el tiempo.

4.3.3. Variables control

Se les solicitó a los participantes que a partir del comienzo del estudio y hasta el fin del mismo, mantuvieran sus hábitos.

- *Actividad física*: hace referencia al nivel de actividad física de los participantes utilizando el cuestionario propuesto por la OMS (Armstrong & Bull, 2006), mediante el cual se clasificaba a los participantes según presentaran un nivel alto, medio o bajo de actividad física.
- *Hábitos alimentarios*: hace referencia a los hábitos alimentarios que pueden influir en la variación de la composición corporal a lo largo del proceso del periodo de entrenamiento. Se expresó en kilocalorías diarias totales consumidas y porcentaje de hidratos de carbono, grasas y proteínas consumidas.
- *Asistencia*: hace referencia al número de sesiones de entrenamiento que realizaron los participantes. Se expresó en porcentaje en relación al total de sesiones planificadas.

Los participantes fueron instruidos a mantener sus hábitos alimentarios y de actividad física durante el transcurso del estudio. Para verificar el cumplimiento de estas instrucciones, los hábitos de actividad física y alimentarios fueron evaluados en tres ocasiones (en las semanas 1, 6 y 11). Un instructor experimentado obtuvo registros alimentarios y de actividad física sin previo aviso. En todas las ocasiones los registros alimentarios se realizaron en tres días consecutivos incluyendo un día del fin de semana (ANEXO II). De los registros de los tres días se obtuvieron el total de calorías consumidas, y calorías de hidratos de carbono, de grasas y de proteínas usando un programa informático disponible

comercialmente (DietSource v. 3,0; Novartis, Barcelona, España). Para monitorizar la actividad física se utilizó el Cuestionario Global de Actividad Física de la OMS (Armstrong & Bull, 2006) y también fue completado por todos los participantes.

En relación a la asistencia, se controló a través de personal colaborador. Se estableció como requisito que los participantes asistieran al 90% del total de sesiones planeadas. Al menos debería asistir a 22 de las 24 sesiones previstas en las 12 semanas que duró el programa. Se excluyeron todos los participantes que faltaron al entrenamiento más de un 10% del total de sesiones, independientemente de la causa que lo produjera.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El registro y almacenamiento de los datos se realizó con la hoja de cálculo Excel 2007 (Microsoft corp., Redmond, WA, EEUU). Para llevar a cabo el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 18.0 (IBM corp., New York, EEUU) para Mac OS X.

Se realizó un análisis descriptivo de las variables, y los valores se expresaron como media y desviación estándar. El test de normalidad utilizado fue el de Shapiro-Wilk y el de homogeneidad fue el test de Levene.

Para analizar los cambios significativos de cada variable en cada grupo se utilizó un test de análisis de la varianza (ANOVA) de dos factores (grupo x tiempo), con medidas repetidas en el factor tiempo. Los cambios relativos entre grupos se compararon utilizando ANOVA de un factor, y utilizando el test de Bonferroni post hoc. Para las variables que no cumplía con el supuesto de normalidad se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

El nivel de significación estadística se fijó en $p \leq 0,05$.

V. RESULTADOS

RESULTADOS

En el estudio participaron 37 sujetos seleccionados entre los 45 que respondieron a la invitación inicial. De los 45 participantes, tres fueron rechazados después de la exploración clínica debido a problemas de salud (tuberculosis activa, alteraciones electrocardiográficas, patología musculoesquelética). Los 42 sujetos que pasaron el examen médico se asignaron al azar (tras la realización de los test iniciales) a GEC (n = 16), a GET (n = 16) y al grupo control (n = 10). Cinco sujetos abandonaron durante el período de estudio: dos participantes del GET se retiraron debido a una enfermedad, y otros tres se retiraron alegando problemas profesionales en el GC. Al finalizar el estudio, el número de participantes en cada grupo fue el siguiente: GEC, n = 16; GET, n = 14; y GC, n = 7. Ninguno de los abandonos dejó el programa como consecuencia de lesiones o reacciones adversas al entrenamiento. En la Figura 16 se puede observar el diagrama de flujo de los participantes.

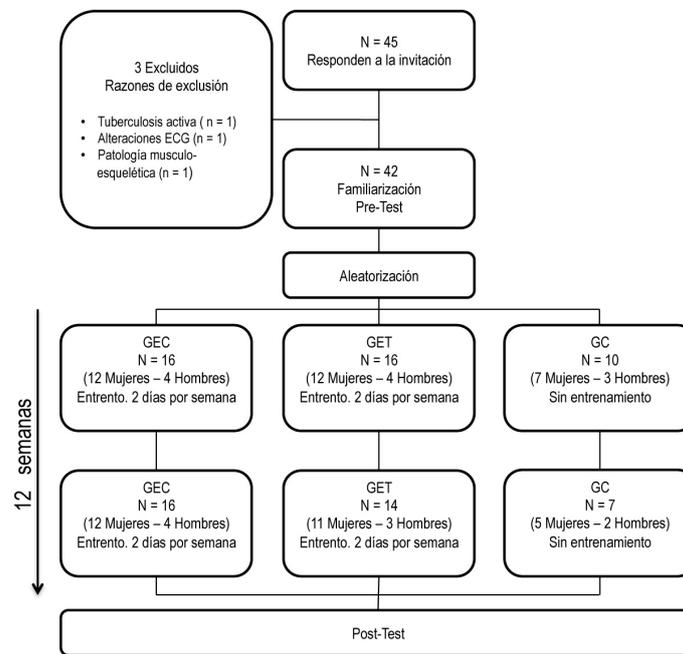


Figura 16. Diagrama de flujo del estudio.

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

Las características, antes de empezar el periodo de entrenamiento, de los sujetos en cada grupo se presentan en la Tabla 2. No se observaron diferencias significativas en ninguna de estas características entre GEC, GET y GC al inicio del estudio. No se observaron diferencias significativas en el cumplimiento del entrenamiento entre GEC y GET ($91,2 \pm 3,7$ vs. $94,6 \pm 3,1\%$, respectivamente). Tanto los grupos experimentales como el grupo control presentaron valores similares en los hábitos alimentarios ($1601,2 \pm 261,3$ Kcal; 61% de hidratos de carbono, 20% de proteínas y 19% de lípidos).

Tabla 2. Datos descriptivos de los grupos sometidos a estudio. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)	GET (n = 14)	GC (n = 7)
Edad (años)	62,1 \pm 6,3	64,8 \pm 4,5	58,0 \pm 5,0
Peso (kg)	71,2 \pm 12,2	72,0 \pm 10,7	73,4 \pm 11,2
Talla (cm)	154,6 \pm 8,0	155,0 \pm 7,5	157,1 \pm 6,0
IMC (kg·m ⁻²)	29,7 \pm 4,1	30,2 \pm 6,0	29,9 \pm 5,8

IMC = índice de masa corporal; GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

Tras un análisis previo no se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables al comienzo del trabajo entre ninguno de los grupos sometidos a estudio, salvo en la variable estabilométrica porcentaje de acierto en el grupo de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional.

5.1. COMPOSICIÓN CORPORAL

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las variables de composición corporal, para los grupos experimentales y para el grupo control, en el pre-test y en el post-test. Al realizar el análisis estadístico, en el grupo de entrenamiento en circuito (GEC) los resultados mostraron un descenso en el porcentaje de grasa corporal (-4,4%; $p < 0,001$) y en la masa grasa total (-3,7%; $p = 0,011$), y un incremento en la masa libre de grasa (3,4%; $p < 0,001$) y en la DMO_{total} (1,2%; $p = 0,025$); también para este grupo se observó una tendencia a la significación estadística en el incremento del CMO_{total} (0,8%; $p = 0,072$). En cuanto al grupo de entrenamiento tradicional (GET) se observó un incremento en la masa libre de grasa (2,2%; $p = 0,025$), en el CMO_{total} (1,1%; $p = 0,015$) y en la DMO_{total} (1,1%; $p = 0,018$). No hubo cambios en ninguna variable en el grupo control tras las 12 semanas del periodo experimental.

Tabla 3. Datos de composición corporal en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Grasa corporal (%)	42,3 \pm 5,4	40,5 \pm 5,0 †	42,2 \pm 9,1	41,6 \pm 9,1	41,1 \pm 11,3	41,1 \pm 11,0
Masa grasa (kg)	31,0 \pm 5,7	29,9 \pm 6,1 †	31,8 \pm 9,7	31,4 \pm 10,2	31,4 \pm 11,5	31,8 \pm 11,6
Masa magra (kg)	40,3 \pm 9,1	41,7 \pm 9,0 †	40,3 \pm 6,8	41,2 \pm 6,9 †	41,8 \pm 7,8	42,1 \pm 7,8
CMO_{total} (g)	2267,5 \pm 81,1	2284,7 \pm 80,0	2343,0 \pm 87,1	2368,5 \pm 86,0 †	2294,4 \pm 118,7	2299,1 \pm 117,1
DMO_{total} ($g \cdot cm^{-2}$)	0,918 \pm 0,098	0,929 \pm 0,108 †	0,932 \pm 0,137	0,942 \pm 0,130 †	0,900 \pm 0,078	0,897 \pm 0,071

CMO: contenido mineral óseo; DMO: densidad mineral ósea; GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

Tras realizar el análisis comparando los diferentes grupos, se observó que el descenso del porcentaje de grasa corporal fue mayor en el GEC que en el GET (-4,4% vs. -1,4%; $p = 0,036$), y que en el grupo control (-4,4% vs. 0%; $p = 0,016$). Asimismo, se pudo observar que en el GEC el descenso de la masa grasa total fue mayor que en el grupo control (-3,7% vs. 1,0%; $p = 0,039$), y que el incremento de la masa libre de grasa total fue mayor en el GEC que en el GC (3,4% vs. 1,0%; $p = 0,033$). Los porcentajes de cambio para cada una de las variables y cada uno de los grupos se muestran en la Figura 17.

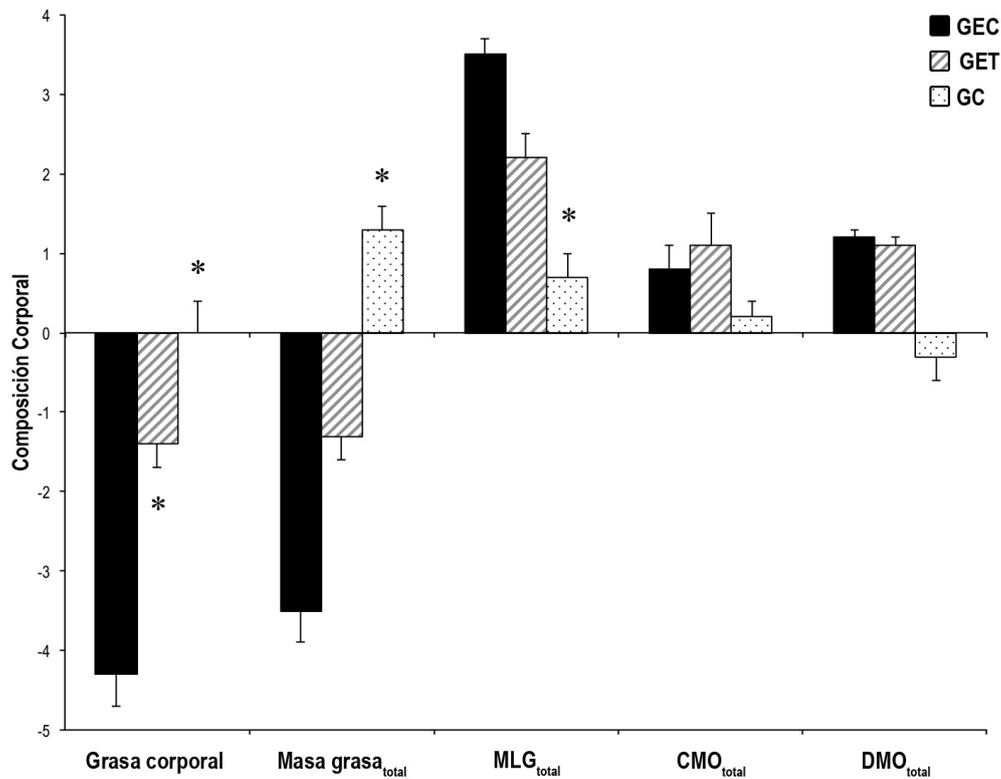


Figura 17. Cambio en la composición corporal.

CMO_{total}: contenido mineral óseo total; DMO_{total}: densidad mineral ósea total; GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control; MLG_{total}: masa libre de grasa.

*: diferencias estadísticamente significativas con el grupo GEC ($p < 0,05$).

5.2. FUERZA ISOCINÉTICA MÁXIMA

En las Tablas 4 y 5 se muestran los resultados de las variables de fuerza isocinética, para los grupos experimentales y para el grupo control, en el pre- y en el post-test. Se analizó el torque pico concéntrico en la flexión/ extensión del codo y de la rodilla a velocidades angulares de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $270^{\circ}\cdot s^{-1}$.

El análisis estadístico reveló que a la velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$ (Tabla 4) se produjo un incremento estadísticamente significativo en los valores de fuerza en la flexión y extensión del codo tanto en el GEC (flexión: 19,9%, $p < 0,001$; y extensión: 12%, $p = 0,042$) como en el GET (flexión: 25,6%, $p < 0,001$; y extensión: 19,5%, $p = 0,002$). En la articulación de la rodilla a esta misma velocidad angular ($90^{\circ}\cdot s^{-1}$), se produjo un incremento estadísticamente significativo en los valores de fuerza en la flexión y extensión tanto en el GEC (flexión: 31,7%, $p < 0,001$; y extensión: 21,9%, $p = 0,001$) como en el GET (flexión: 30,1%, $p = 0,001$; y extensión: 23,8%, $p < 0,001$).

Tabla 4. Datos del torque pico concéntrico a la velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$, para la flexión/extensión de la articulación del codo y la rodilla, en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
TorqF de Codo (N·m)	23,7 \pm 8,3	28,4 \pm 10,0 †	23,1 \pm 7,7	29,1 \pm 7,0 †	27,8 \pm 11,0	28,1 \pm 12,0
TorqE de Codo (N·m)	24,9 \pm 6,8	27,9 \pm 8,9 †	23,9 \pm 7,6	28,6 \pm 5,0 †	30,4 \pm 11,3	29,5 \pm 7,9
TorqF de Rodilla (N·m)	34,2 \pm 13,1	45,1 \pm 15,8 †	32,5 \pm 11,9	42,3 \pm 16,6 †	38,8 \pm 7,2	41,8 \pm 6,8
TorqE de Rodilla (N·m)	78,1 \pm 13,9	95,2 \pm 19,3 †	71,9 \pm 15,3	89,0 \pm 13,5 †	86,0 \pm 15,4	80,5 \pm 18,0

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control; TorqE: torque pico en extensión; TorqF: torque pico en flexión.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

En cuanto a la velocidad angular de $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ (Tabla 5), el análisis estadístico mostró que se produjo un incremento estadísticamente significativo en los valores del torque pico en la flexión y extensión del codo tanto en el GEC (flexión: 25,6%, $p = 0,001$; y extensión: 18%, $p = 0,048$) como en el GET (flexión: 25,2%, $p = 0,001$; y extensión: 20,4%, $p = 0,004$). En la articulación de la rodilla, se produjo un incremento estadísticamente significativo en los valores de fuerza en la flexión y extensión tanto en el GEC (flexión: 37,2%, $p < 0,001$; y extensión: 24,4%, $p < 0,001$) como en el GET (flexión: 46,0%, $p < 0,001$; y extensión: 28,4%, $p < 0,001$).

Tabla 5. Datos del torque pico concéntrico a la velocidad angular de $270^{\circ}\cdot s^{-1}$, para la flexión/extensión de la articulación del codo y la rodilla, en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
TorqF de Codo (N·m)	15,4 \pm 7,9	19,4 \pm 8,4 †	17,3 \pm 5,5	21,6 \pm 5,8 †	20,9 \pm 8,4	21,7 \pm 10,2
TorqE de Codo (N·m)	18,6 \pm 7,1	22,0 \pm 8,2 †	19,0 \pm 5,9	22,9 \pm 5,4 †	19,7 \pm 12,8	19,1 \pm 10,9
TorqF de Rodilla (N·m)	23,9 \pm 11,5	32,8 \pm 6,9 †	23,0 \pm 11,7	33,6 \pm 10,6 †	31,3 \pm 7,0	32,5 \pm 8,1
TorqE de Rodilla (N·m)	45,9 \pm 14,4	56,9 \pm 13,8 †	44,3 \pm 14,6	56,9 \pm 14,0 †	47,5 \pm 15,6	50,6 \pm 17,0

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control; TorqE: torque pico en extensión; TorqF: torque pico en flexión.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el grupo control, entre el pre- y el post-test, en la flexión/extensión del codo ni de la rodilla en ninguna de las velocidades angulares analizadas ($90^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $270^{\circ}\cdot s^{-1}$).

En la velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$ el análisis que comparó los diferentes grupos mostró que los incrementos en el grupo de entrenamiento en circuito y en el grupo de entrenamiento tradicional fueron mayores que en el grupo control en la flexión de codo (GEC vs. GC, $p = 0,014$; GET vs. GC, $p = 0,001$), y en la extensión de rodilla (GEC vs. GC, $p = 0,007$; GET vs. GC, $p = 0,009$). En la Figura 18 se muestran los porcentajes de cambio para cada una de las variables y cada uno de los grupos a la velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$.

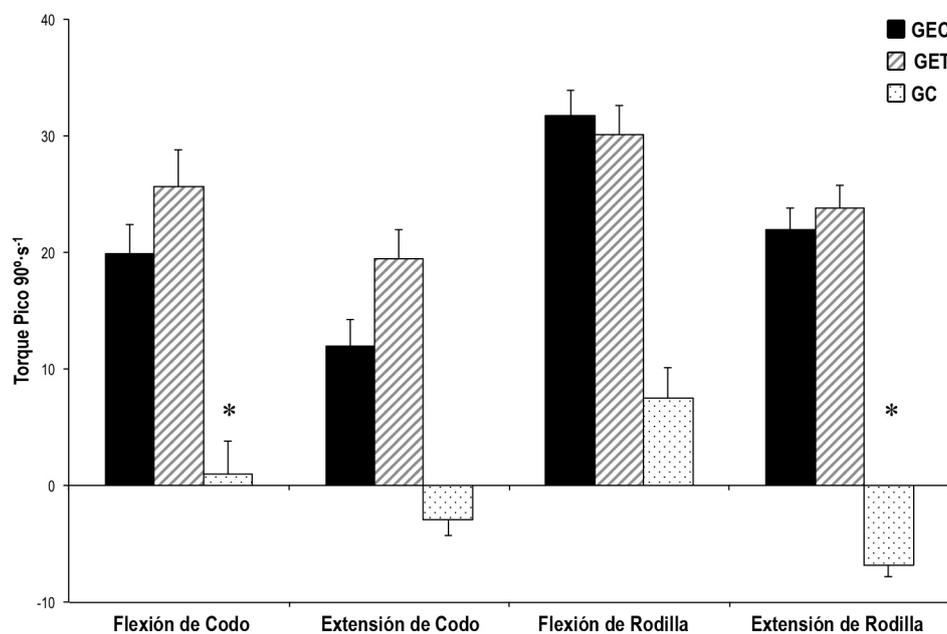


Figura 18. Cambios en el torque pico concéntrico a la velocidad de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$ para la flexión/extensión de la articulación del codo y la rodilla.

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

*: diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales (GEC y GET) con el grupo control ($p < 0,05$)

Tras el análisis que comparó los diferentes grupos, a la velocidad angular de $270^{\circ}\cdot s^{-1}$, se observó que el incremento del torque pico en la flexión de rodilla fue mayor en el GEC y en el GET que en el grupo control (GEC vs. GC, $p < 0,001$; GET vs. GC, $p < 0,001$). Los porcentajes de cambio para cada una de las variables y cada uno de los grupos a velocidad angular de $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ se presentan en la Figura 19.

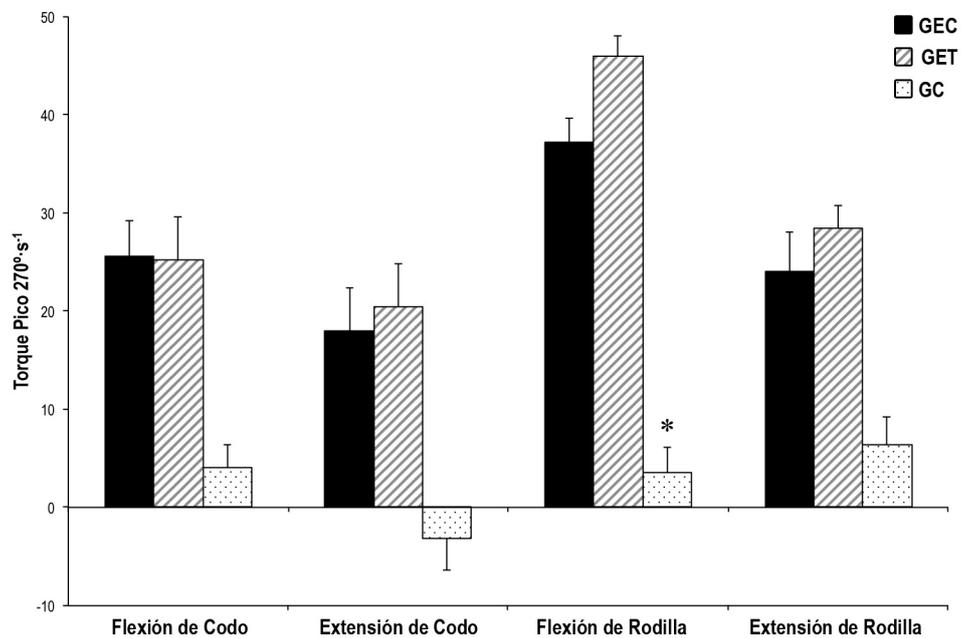


Figura 19. Cambios en el torque pico concéntrico a la velocidad de $270^{\circ}\cdot s^{-1}$ para la flexión/extensión de la articulación del codo y la rodilla.

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

*: diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales (GEC y GET) con el grupo control ($p < 0,05$)

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el GEC y el GET en ninguna de las variables de fuerza isocinética analizadas.

5.3. TENSION ESPECÍFICA DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES

En la Tabla 6 se muestran los resultados de las variables de tensión específica del miembro dominante de la extremidad inferior, para los grupos experimentales y para el grupo control, en el pre-test y en el post-test.

Tras realizar el análisis estadístico se observó que la tensión específica de la extremidad inferior se modificó, tras 12 semanas de entrenamiento, en ambos grupos experimentales, siendo esta diferencia (entre pre- y post-test) estadísticamente significativa (GEC: 25%, $p = 0,001$; GET: 25%, $p = 0,001$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el pre- y el post-test en el grupo control.

Tabla 6. Datos de tensión específica de la extremidad inferior en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Tensión específica EI (N·m·kgf⁻¹)	1,6 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1 †	1,6 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1 †	1,7 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control; EI: extremidad inferior.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

Tras el análisis que comparó los diferentes grupos, se observó que el incremento de la tensión específica del miembro dominante de las extremidades inferiores fue mayor en ambos grupos experimentales al compararlo con el grupo control (GEC vs. GC, $p = 0,012$; GET vs. GC, $p < 0,026$). Los porcentajes de cambio en la tensión específica de la extremidad inferior se presentan en la Figura 20.

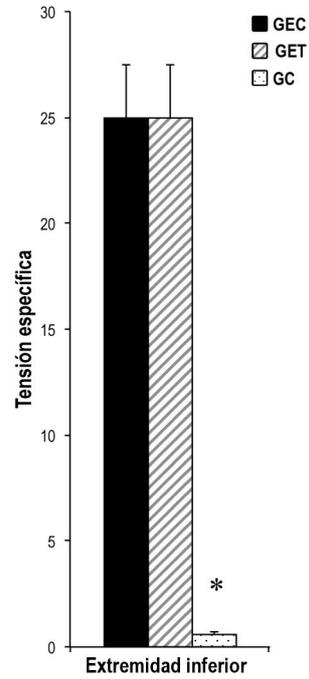


Figura 20. Cambios de la tensión específica de la extremidad inferior.

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito;
GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional;
GC: grupo control.

*: diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales (GEC y GET) con el grupo control ($p < 0,05$).

5.4. PARÁMETROS CARDIORRESPIRATORIOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

En la Tabla 7 se muestran los valores del consumo de oxígeno obtenidos durante un test incremental en el tapiz rodante, para los grupos experimentales y para el grupo control, en el pre- y en el post-test. El análisis reveló un descenso significativo en el VO_2 relativo a la masa libre de grasa en el minuto 1 (-14,2%, $p = 0,001$), en el minuto 3 (-16,1%, $p < 0,001$) y en el momento en alcanzar el umbral ventilatorio (-10,0%, $p = 0,049$) en el GEC. El GET se observó tendencia a la significación estadística en el VO_2 relativo a la masa libre de grasa en el minuto 1 ($p = 0,064$). No se produjeron modificaciones estadísticamente significativas en ninguna variable evaluada en el GET ni en el grupo control. Tras el análisis que comparó los diferentes grupos, se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre grupos.

Tabla 7. Datos de consumo de oxígeno relativos a la masa libre de grasa, en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
$\text{VO}_{2\text{LM}}$ a 1 min (ml/kg/min)	27,3 \pm 6,7	23,9 \pm 6,3 †	27,3 \pm 5,7	23,5 \pm 4,5	28,2 \pm 7,4	26,7 \pm 7,7
$\text{VO}_{2\text{LM}}$ a 3 min (ml/kg/min)	32,4 \pm 7,7	27,9 \pm 5,9 †	29,7 \pm 5,6	29,3 \pm 3,7	32,2 \pm 8,8	29,7 \pm 6,1
$\text{VO}_{2\text{LM}}$ a VT (ml/kg/min)	34,1 \pm 7,9	31,0 \pm 6,7 †	30,9 \pm 4,5	31,4 \pm 6,8	33,6 \pm 5,5	33,6 \pm 2,4
$\text{VO}_{2\text{LM}}$ pico (ml/kg/min)	37,0 \pm 7,4	35,6 \pm 7,9	35,0 \pm 5,7	36,2 \pm 8,2	41,7 \pm 5,4	43,2 \pm 10,2

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control; LM: masa magra; VT: umbral ventilatorio.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

Además, hubo un descenso significativo de la energía consumida en el GEC en el minuto 1 (-7,4%, $p = 0,042$), en el minuto 3 (-10,6%, $p = 0,003$) y el minuto 5 (-9,9%, $p = 0,009$) tras el comienzo de la prueba (Tabla 8). También se observó un descenso en el GET en el minuto 1 (-10,9%, $p = 0,036$). Tras el análisis que comparó los diferentes grupos, se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre grupos.

Tabla 8. Datos de gasto energético, en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
EE a 1 min (kcal·min ⁻¹)	5,4 \pm 1,3	5,0 \pm 1,4 †	5,5 \pm 1,2	4,9 \pm 1,3 †	5,5 \pm 1,0	4,9 \pm 0,9
EE a 3 min (kcal·min ⁻¹)	6,6 \pm 1,6	5,9 \pm 1,4 †	6,1 \pm 1,0	5,8 \pm 1,5	6,4 \pm 1,0	5,8 \pm 0,6
EE a 5 min (kcal·min ⁻¹)	7,1 \pm 1,7	6,4 \pm 1,6 †	6,6 \pm 1,2	6,4 \pm 1,5	6,5 \pm 0,6	6,2 \pm 0,5
EE a 7 min (kcal·min ⁻¹)	7,8 \pm 2,1	7,2 \pm 1,6	7,1 \pm 1,4	7,0 \pm 1,6	6,6 \pm 0,5	6,9 \pm 0,6

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control; EE: energía gastada.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

5.5. MOVILIDAD FUNCIONAL

En la Tabla 9 se reflejan los resultados del test «Timed Up and Go», para los grupos experimentales y para el grupo control, en el pre- y en el post-test. Al realizar el análisis estadístico se pudo observar que después del entrenamiento hubo una mejora estadísticamente significativa en el tiempo de ejecución del test tanto en el GEC (-13,2%, $p < 0,001$) como en el GET (-7,8%, $p = 0,012$). No se observaron modificaciones estadísticamente significativas en el grupo control entre el pre- y el post-test.

Tabla 9. Datos de del test de movilidad funcional «Timed Up and Go», en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Tiempo (s)	10,21 \pm 1,37	8,86 \pm 0,57 †	10,85 \pm 2,23	10,00 \pm 2,30 †	10,23 \pm 1,06	10,30 \pm 1,03

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

Tras el análisis que comparó los diferentes grupos, se observó que la disminución del tiempo de ejecución del test «Timed Up and Go» en el grupo de entrenamiento en circuito fue mayor de forma estadísticamente significativa que en el grupo control (GEC vs. GC, $p = 0,045$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales (Figura 21).

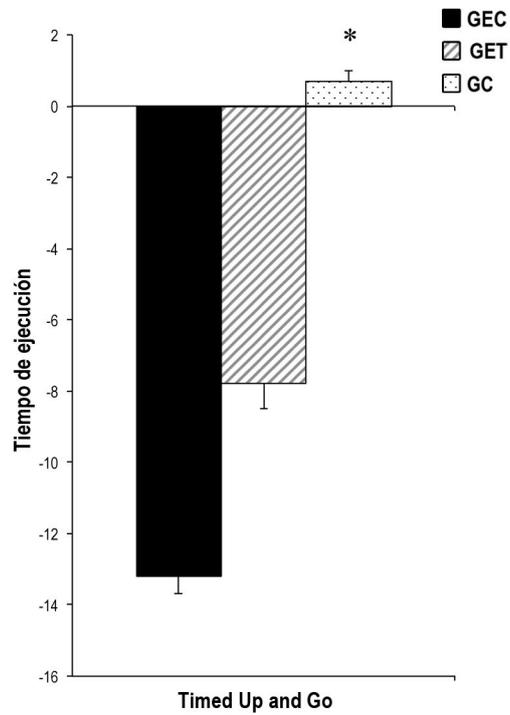


Figura 21. Cambio en el tiempo de ejecución del test «Timed Up and Go».

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

*: diferencias estadísticamente significativas entre GEC y el grupo control ($p < 0,05$).

5.6. ESTABILIDAD POSTURAL

Los resultados de las variables de estabilometría para los grupos experimentales y para el grupo control, en el pre- y en el post-test, se muestran en la Tabla 10. Al realizar el análisis estadístico se observó que entre el pre- y el post-test únicamente hubo modificaciones estadísticamente significativas en la variable calidad de transición en el GET (-3,8%, $p = 0,035$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el pre- y el post-test en el resto de variables en ninguno de los grupos sometidos a estudio.

Tabla 10. Datos de estabilometría, en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Tiempo de transición (s)	3,2 \pm 0,8	3,0 \pm 0,9	2,9 \pm 0,8	3,0 \pm 1,1	3,3 \pm 1,0	3,2 \pm 0,8
Calidad de transición (%)	75,4 \pm 8,0	77,9 \pm 5,7	78,0 \pm 5,9	75,0 \pm 7,2 †	80,6 \pm 5,4	82,4 \pm 2,4
Acierto de dianas (%)	82,3 \pm 13,0	83,8 \pm 10,6	72,7 \pm 14,7	82,0 \pm 11,2	82,1 \pm 22,2	82,0 \pm 9,2
Balanceo (cm²)	8,3 \pm 2,4	7,7 \pm 2,0	10,0 \pm 3,9	8,4 \pm 3,1	7,7 \pm 1,9	8,8 \pm 2,4

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

No existen diferencias entre grupos, salvo las deferencias en el pre-test en la variable aciertos de diana.

5.7. CALIDAD DE VIDA RELACIONADA CON LA SALUD

Los resultados de las variables relativas a la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud para los grupos sometidos a estudio, en el pre- y en el post-test, se presentan en la Tabla 11. Las pruebas no paramétricas revelaron que existían diferencias estadísticamente significativas, entre el pre- y el post-test, en las dimensiones función física ($p = 0,002$), vitalidad ($p = 0,020$) y en el sumatorio físico ($p = 0,029$) del cuestionario SF-36 en el GEC. Se observó una tendencia a la significación en la dimensión dolor corporal ($p = 0,058$) en el GEC; y también en la función física ($p = 0,052$) y en el sumario físico ($p = 0,071$) en el GET. No se observó ningún cambio estadísticamente significativo en el GC para ninguna de las dimensiones del cuestionario entre el pre- y el post-test. Tras el análisis que comparó los diferentes grupos, se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre grupos.

Tabla 11. Datos de la calidad de vida relacionada con la salud, en pre- y post-test. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)		GET (n = 14)		GC (n = 7)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Función física	75,6 \pm 24,2	85,9 \pm 20,2 †	79,3 \pm 16,8	85,3 \pm 22,0	82,9 \pm 14,4	80,7 \pm 17,9
Rol físico	86,8 \pm 33,2	92,6 \pm 24,6	83,3 \pm 36,2	93,3 \pm 25,8	71,4 \pm 48,8	75,0 \pm 43,3
Dolor corporal	72,0 \pm 24,8	80,7 \pm 23,9	69,3 \pm 22,6	71,7 \pm 18,8	60,9 \pm 18,8	66,0 \pm 21,6
Salud general	63,5 \pm 17,2	71,5 \pm 19,4	66,1 \pm 17,1	73,1 \pm 14,7	60,1 \pm 16,2	65,9 \pm 14,8
Vitalidad	67,4 \pm 25,1	83,2 \pm 18,8 †	65,7 \pm 19,4	73,0 \pm 16,3	66,4 \pm 20,1	66,4 \pm 16,3
Función social	87,5 \pm 19,8	92,6 \pm 16,6	85,0 \pm 21,8	93,3 \pm 11,4	83,9 \pm 27,7	89,3 \pm 23,3
Rol emocional	84,3 \pm 31,4	94,1 \pm 24,2	84,4 \pm 35,3	84,4 \pm 35,3	57,1 \pm 46,0	66,7 \pm 43,0
Salud mental	75,3 \pm 18,7	82,1 \pm 19,9	74,9 \pm 21,8	80,8 \pm 15,4	68,0 \pm 15,7	72,6 \pm 15,7
Sumario físico	47,4 \pm 9,0	50,6 \pm 6,5 †	47,7 \pm 7,2	50,5 \pm 5,1	48,3 \pm 10,3	48,4 \pm 9,8
Sumario mental	50,7 \pm 9,6	54,7 \pm 7,5	50,0 \pm 12,1	52,0 \pm 9,9	44,3 \pm 12,3	47,4 \pm 13,0

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

†: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre pre- y post-test.

VI. DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

La pérdida de masa y función muscular además del emparejado descenso del rendimiento físico y la movilidad, están entre los procesos degenerativos más importantes asociados al envejecimiento (Chodzko-Zajko et al., 2009). En la literatura se han descrito descensos en fuerza del 20-40% en personas mayores (Barry & Carson, 2004; Vandervoort, 2002). En este sentido, uno de los objetivos importantes en los programas de ejercicio clínico es el incremento de la fuerza y de la masa muscular, a la vez que se mejora la capacidad cardiorrespiratoria y se optimiza la composición corporal (incluida la densidad mineral ósea). Dichos programas incluyen, normalmente, el uso combinado de sesiones de entrenamiento de fuerza y resistencia (Ferketich, Kirby, & Alway, 1998), sin embargo, este aspecto ha sido problemático cuando el acceso a instalaciones de entrenamiento o de supervisores es limitado, o cuando existe poco tiempo disponible para el acondicionamiento físico. Así, el objetivo de la presente tesis fue el de desarrollar de una forma única de acondicionamiento que promoviera amplias adaptaciones en la forma física, ya que puede ser de gran beneficio para los especialistas en el entrenamiento.

Los hallazgos más importantes de nuestro estudio fueron que 12 semanas de entrenamiento de circuito a alta intensidad (GEC) produce ganancias de fuerza, masa muscular, densidad mineral ósea y la movilidad funcional en población mayor sana. Estas mejoras fueron similares a las obtenidas con el programa de entrenamiento tradicional (GET), con la ventaja de que el GEC requiere menos tiempo que el GET (~66% menos en el GEC con respecto al GET). Desde un punto de vista práctico, estos resultados son de especial importancia para las personas mayores, ya que la disminución de la masa muscular y la fuerza asociada con el envejecimiento puede tener una influencia negativa en la movilidad, que cuando se añade a la pérdida de equilibrio y disminución de la masa ósea, aumenta el riesgo de caída, y por tanto, el riesgo de fractura. Sólo el GEC suscitó mejoras en el sistema cardiorrespiratorio, en todas las variables de composición corporal (es decir, disminución de la masa grasa, y aumento de la masa libre de grasa y de la densidad mineral ósea) y en la percepción de la

calidad de vida relacionada con la salud, lo que indica que su uso puede ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares, mejorar la economía de movimiento y que el programa tenga una buena aceptación en las personas mayores.

6.1. COMPOSICIÓN CORPORAL

El constante aumento de personas con sobrepeso en España es un grave problema de salud pública, y es un factor de riesgo asociado a trastornos cardiovasculares y metabólicos. En este sentido, es importante identificar programas eficaces que ayuden a reducir la masa grasa y mejoren la calidad de vida. La literatura previa, avala que los programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito promueven cambios en la composición corporal tanto en adultos jóvenes (Gettman, Ayres, Pollock, & Jackson, 1978; Harber et al., 2004; Wilmore et al., 1978) como en personas mayores (Paoli et al., 2010; Takeshima et al., 2004). En la misma línea se encuentran los resultados obtenidos en el presente estudio.

En el presente trabajo, se observó un descenso estadísticamente significativo del porcentaje de grasa corporal en el GEC (-4,4%), además este descenso fue mayor que el producido en el GET usando el mismo volumen (1-3 series) y la misma intensidad (6RM, ~85% del 1RM) de entrenamiento. La única diferencia fue el breve periodo de descanso entre series de ejercicios durante el programa de entrenamiento en circuito (35 s vs. 3 min).

La frecuencia semanal, el volumen, la carga de entrenamiento, y la relación entre el trabajo y el descanso, juegan un papel fundamental en las adaptaciones inducidas por un entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito en la población mayor. Los estudios revisados han mostrado una disminución significativa de la grasa corporal utilizando una frecuencia de entrenamiento de tres sesiones por semana. En cambio en el presente estudio se observó un descenso del porcentaje de grasa corporal tras 12 semanas, realizando dos sesiones por semana. Takeshima et al. (2004) observaron un descenso del 16% de la masa grasa en una investigación con una duración similar a la del presente

trabajo, pero con una frecuencia de entrenamiento de tres veces por semana. Este descenso es mayor que en otros estudios que evalúan el efecto del entrenamiento en circuito sobre la grasa corporal, pudiendo ser debido a que el programa consistió en 30 s de entrenamiento resistido con 30 s de movimientos de baile aeróbicos (70% de la frecuencia cardiaca de reserva). En el estudio de Takeshima et al. (2004), al igual que en el presente trabajo, se utilizó una relación entre el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso 1:1 (30:30 s). Al parecer esta relación, trabajo:descanso es un factor determinante en los programas de entrenamiento en circuito (Waller et al., 2011). Aunque no existe una relación o ratio trabajo:descanso estandarizada, ratios 1:1 o 2:1 son los más utilizados (Romero-Arenas et al., 2011).

Utilizando un volumen y una frecuencia de entrenamiento similar, Paoli et al. (2010) compararon dos programas de entrenamiento en circuito, de baja y alta intensidad (15RM vs. 6RM) durante un periodo de 12 semanas. En este estudio los autores observaron un gran descenso del porcentaje de grasa corporal en el grupo de participantes que entrenó con una intensidad alta (6RM), siendo esta reducción del porcentaje de masa grasa mayor que el grupo que entrenó con una intensidad más baja (15RM). Los autores especulan que estos hallazgos son debidos a un incremento del exceso de oxígeno consumido (EPOC) en las horas posteriores al ejercicio. Algunos estudios han informado que ejercicios resistidos de alta intensidad generan mayor EPOC que ejercicios resistidos de baja intensidad (Haltom et al., 1999; Thornton & Potteiger, 2002), además, estos altos valores de EPOC se mantienen tras 24 horas de la sesión de entrenamiento de alta intensidad (Paoli et al., 2012). Este metabolismo elevado tras el ejercicio desempeña un papel en la demanda energética del ejercicio y en el efecto total del ejercicio sobre el control del peso corporal (Paoli et al., 2014). Otro efecto del entrenamiento de fuerza con sobrecargas de alta intensidad en el control del peso corporal es el efecto que tiene sobre el metabolismo basal con el aumento de la masa muscular. Además de influir en el aumento del metabolismo basal, este incremento de la masa muscular minimiza los efectos de la sarcopenia (Mitchell et al., 2012).

En relación a la masa muscular, un inconveniente de los programas tradicionales de entrenamiento en circuito es que las cargas levantadas son

relativamente bajas (40%-60% del 1RM), por lo que el estímulo para alcanzar adaptaciones en la masa muscular es mínimo. Hunter et al. (2004) establecieron que la intensidad para promover hipertrofia muscular en las personas mayores debería oscilar entre el 60% y el 80% del 1RM. Los resultados del presente estudio revelaron un incremento de la masa libre de grasa en respuesta al entrenamiento en circuito de alta intensidad (3,4%), y estos datos fueron similares a los obtenidos con el programa de entrenamiento tradicional (2,2%). La relevancia clínica de estos hallazgos se encuentra en la búsqueda permanente de estrategias eficaces de intervención para prevenir o tratar la sarcopenia. Esta pérdida de masa y función muscular con el envejecimiento predispone a la discapacidad, fragilidad, y, finalmente, la pérdida de la independencia (Nilwik et al., 2013).

Otro hallazgo importante fue que el GEC aumentó de forma estadísticamente significativa la densidad mineral ósea de cuerpo completo (DMO_{total}). Tras 12 semanas de programa de entrenamiento se produjo un aumento de la DMO_{total} moderado pero uniforme, en ambos grupos experimentales (GEC: 1,2%; y GET: 1,1%), mientras que no se modificó (-0,3%) en el grupo control. El envejecimiento se asocia con una pérdida significativa de la DMO, lo que hace que los huesos sean más susceptibles a las fracturas (Marshall et al., 1996). Parece razonable que se observaran efectos positivos en nuestros participantes, ya que previamente se han mostrado aumentos en la DMO estimulados por programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas (Lohman et al., 1995; Vincent & Braith, 2002). Sin embargo, según nuestro conocimiento no existe hasta la fecha una modalidad de entrenamiento que también provoque mejoras significativas en la composición corporal (es decir, disminuye la masa grasa, y aumenta la masa libre de grasa), incremente la fuerza, mejore la economía de movimiento e incremente la percepción subjetiva de la calidad de vida.

Las intensidades bajas que normalmente se adoptan en los programas de entrenamiento en circuito tradicionales pueden limitar la posibilidad de aumentar la DMO (Brentano et al., 2008; Gettman et al., 1982), y los pocos estudios (Brentano et al., 2008; Rhodes et al., 2000) que han examinado los efectos del entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito sobre la DMO en personas mayores no encontraron ningún cambio, a diferencia de lo que sucedió en el

presente trabajo. Así, parece que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas a alta intensidad puede ser más importante que el número de repeticiones en el incremento de la densidad mineral ósea (Bemben & Bemben, 2011; Gómez-Cabello et al., 2012). Esto podría sugerir que la masa ósea pueda ser modificada por un entrenamiento de fuerza con sobrecargas con altas cargas y bajas repeticiones, pero no por un entrenamiento con bajas cargas y alto número de repeticiones (Cussler et al., 2003; Vincent & Braith, 2002). Aunque serán necesarias futuras investigaciones que aclaren los efectos de un programa de entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre el hueso.

6.2. FUERZA MÁXIMA

La fuerza máxima muscular está asociada fuertemente y de manera negativa con el riesgo de mortalidad por cualquier causa (Laukkanen et al., 1995; Metter et al., 2002; Rantanen et al., 2000; Ruiz et al., 2008) y se conoce que es un factor importante que influye en la capacidad de realizar actividades de la vida diaria y en el riesgo de caídas de las personas mayores (Hyatt, Whitelaw, Bhat, Scott, & Maxwell, 1990; Tiedemann et al., 2011). Aunque se conoce que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas de alta intensidad provoca mejoras sustanciales en la fuerza muscular (Fry, 2004; Raymond et al., 2013), incluso en los individuos más ancianos (Fiatarone et al., 1990), hasta la fecha los programas de entrenamiento en circuito han utilizado cargas relativamente bajas, demostrando no promover aumentos de fuerza muscular comparables con los incrementos que pueden provocar los programas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicionales en las personas mayores (Brentano et al., 2008). En cambio, en los resultados del presente estudio se muestra que las mejoras en la fuerza isocinética en respuesta al entrenamiento en circuito de alta intensidad, fueron similares a las obtenidas por el programa de entrenamiento tradicional. La fuerza isocinética mejoró un 22-46% para la flexo-extensión de la rodilla y un 12-25% para la flexo-extensión del codo, tanto a velocidades angulares de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$, como a velocidades angulares más altas, $270^{\circ}\cdot s^{-1}$. Cuando se realizó la comparación entre grupos, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales; en cambio, si se observaron diferencias estadísticamente

significativas entre los grupos experimentales y el grupo control, tras 12 semanas de entrenamiento, en la flexión de codo y en la extensión de rodilla valorada una velocidad angular de 90°·s⁻¹. Una posible limitación del presente estudio es el uso de pruebas isocinéticas «no específicas» para la valoración de la fuerza en lugar de pruebas específicas, como puede ser la determinación del 1RM. El uso de pruebas isoinerciales (utilizando los mismos patrones de movimiento que se utilizan durante el entrenamiento) en el futuro podría demostrar más claramente cambios en la fuerza muscular provocado por el entrenamiento, facilitando también la comparación de los resultados con los de otros estudios.

Ambos grupos de entrenamiento, GEC y GET, demostraron grandes aumentos en la fuerza isocinética en el presente estudio, que no era de extrañar teniendo en cuenta que los sujetos tenían poca o ninguna experiencia en el entrenamiento de fuerza con sobrecargas. En estudios previos se consideró que, en vista de la corta duración del estudio, las ganancias en fuerza podrían ser probablemente el resultado de cambios en los mecanismos neurales (Hakkinen et al., 2002; Moritani & deVries, 1980; Staron et al., 1994), tales como un aumento de la capacidad de reclutamiento y de la frecuencia de estimulación de las unidades motoras, una mayor sincronización en la activación de dichas unidades motoras, y un aumento de la actividad de los músculos agonistas junto con una disminución de la co-activación de los músculos antagonistas. En el presente estudio se encontró que esta posible mejora de la fuerza por medio de adaptaciones neurales se acompañó de un aumento en la masa muscular (GEC = 3,4%; y GET = 2,2%), lo que sugiere que, además de adaptaciones neurales, también se suscitaron adaptaciones morfológicas.

A mediados de los años 80 y principios de los años 90 surgen los primeros estudios (Fiatarone et al., 1990; Frontera et al., 1988; Hurley et al., 1984) que demuestran que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas de alta intensidad realizado al 80% de 1RM es un medio factible, seguro y eficaz para provocar un gran aumento en la fuerza muscular (una mejora de hasta un 227% en la fuerza de las extremidades inferiores) (Frontera et al., 1988) en las personas mayores. Después de estos primeros estudios, han sido muchos los autores que han investigado el efecto del entrenamiento de fuerza con sobre cargas de alta

intensidad en las personas mayores. Candow et al. (2011) investigaron el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional de alta intensidad en personas mayores sanas podría eliminar el déficit de fuerza al compararlos con sujetos jóvenes. Tras 22 semanas de entrenamiento mostraron que con una intensidad $\sim 70\%$ del 1RM, tres veces por semana, los participantes mayores consiguieron alcanzar los niveles de fuerza alcanzados por los individuos jóvenes. Además, en un reciente meta-análisis (Raymond et al., 2013) se objetivó que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas con una intensidad alta ($>70\%$ del 1RM) induce mayores ganancias de fuerza que utilizando intensidades más bajas.

Son pocos los estudios previos que han evaluado el efecto del entrenamiento en circuito de alta intensidad en personas mayores, probablemente porque los sujetos no eran considerados capaces a producir la misma fuerza muscular debido a la fatiga provocada por el escaso tiempo de recuperación que hay entre ejercicios. Sin embargo, Alcaraz et al. (2008) demostraron que la fuerza, la potencia y la carga total de trabajo fueron similares al comparar una sesión de entrenamiento en circuito de alta intensidad frente a una sesión de entrenamiento tradicional de alta intensidad con sujetos jóvenes. Este mismo grupo de investigación (Alcaraz, Perez-Gomez, Chavarrias, & Blazevich, 2011), con un diseño similar al de este estudio pero dirigido a sujetos jóvenes ($22,7 \pm 3,3$ años) también observó ganancias similares de fuerza entre el grupo que realizó el programa en circuito y el que lo realizó de forma tradicional. Hasta la fecha, Paoli et al. (2010) es el único estudio que ha sometido a un grupo de personas mayores (50-65 años) a un programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad. En este estudio se examinaron los efectos de un programa de 12 semanas de entrenamiento en circuito de alta intensidad (6RM) frente a un programa tradicional de entrenamiento en circuito, que utilizaba una intensidad de 15RM, y comprobaron que aquel grupo que entrenó con intensidades altas (6RM) obtuvo mayores ganancias de fuerza que el grupo que entrenó con una intensidad más baja (15RM).

En las personas mayores, poseer músculos más fuertes implica un ritmo más rápido al caminar, una mejora de la movilidad funcional, una mejora de la capacidad de usar las escaleras, una reducción del uso de las ayudas al caminar y un aumento de la actividad física espontánea (Cress et al., 1999). De ahí la importancia de los datos del presente trabajo, que muestran que 12 semanas de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad es bien tolerado por población mayor, además de provocar ganancias en fuerza similares a las conseguidas con un programa tradicional de fuerza con sobrecargas, con la ventaja de ser el entrenamiento en circuito un ~66% más eficiente en el tiempo (GEC: 35-47 min vs. GET: 45-87 min).

6.3. TENSION ESPECÍFICA

El envejecimiento está asociado al descenso de la tensión específica muscular (es decir, calidad muscular). Este descenso puede estar relacionado con factores neurales, así como factores morfológicos intrínsecos como la redistribución de la grasa en el músculo y la síntesis de colágeno, lo que resulta en un aumento del tejido conjuntivo intramuscular (Seene, Kaasik, & Riso, 2012). Además de eso, también se ha demostrado que el descenso de la calidad muscular está asociado con una reducida capacidad funcional en la población mayor (Granacher, Gruber, & Gollhofer, 2010; Misic, Rosengren, Woods, & Evans, 2007). Para combatir este efecto, el entrenamiento de fuerza parece ser una intervención efectiva para la mejora de la tensión específica, como han demostrado diversos estudios (Fragala et al., 2014; Granacher et al., 2010; Karlsson, Magnusson, von Schewelov, & Rosengren, 2013; Misic et al., 2007). Los presentes resultados están en consonancia con los estudios anteriores, ya que ambos grupos experimentales mejoraron la calidad muscular de forma similar (25%). Esto sugiere que a pesar del aumento del tamaño muscular, factores neurales (un aumento de la capacidad de reclutamiento y de la frecuencia de estimulación de las unidades motoras, una mayor sincronización en la activación de dichas unidades motoras, y una disminución de la co-activación de los músculos antagonistas) pueden explicar el incremento de la fuerza muscular (Cadore et al., 2012).

6.4. PARÁMETROS CARDIORRESPIRATORIOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Una de las adaptaciones más destacadas asociadas al entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito son los cambios producidos en los parámetros cardiorrespiratorios, tanto en adultos jóvenes (Alcaraz et al., 2011; Alcaraz et al., 2008) como en personas mayores (Brentano et al., 2008; Takeshima et al., 2004). El escaso tiempo de descanso entre series de ejercicios hace que la carga que recibe el sistema cardiorrespiratorio sea más elevada que en un entrenamiento de fuerza tradicional (Tesch, 1992), provocando un incremento del $VO_{2\text{max}}$. En el presente trabajo no se observaron mejoras cuando se valoró el $VO_{2\text{max}}$ en ninguno de los grupos sometidos estudio. En cambio, sí se produjeron modificaciones estadísticamente significativas del consumo de oxígeno a intensidades submáximas, suscitando una mejora en la eficiencia energética únicamente en el GEC. Estas mejoras están íntimamente relacionadas con el estímulo producido por el programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito de alta intensidad (Alcaraz et al., 2011; Alcaraz et al., 2008), ya que no se apreciaron modificaciones a intensidades submáximas en los restantes grupos sometidos a estudio (GET y GC).

Estudios previos han podido comprobar que tras un programa de entrenamiento en circuito, en personas mayores, con 8-12 estaciones llevado a cabo tres días por semana se observaban mejoras en el $VO_{2\text{max}}$ (Brentano et al., 2008; Takeshima et al., 2004). Brentano et al. (2008) propusieron un programa de entrenamiento en circuito a mujeres posmenopáusicas, el cual produjo mejoras significativas en el $VO_{2\text{max}}$ (18,6%) después de 24 semanas utilizando cargas entre el 40% y el 60% del 1RM. Takeshima et al. (2004) sometieron a un grupo de 18 sujetos ($68,3 \pm 4,9$ años) a un programa de entrenamiento en circuito, con máquinas de resistencia hidráulica, en el que intercalaban ejercicios con sobrecargas con movimientos de baile aeróbicos durante 12 semanas a una intensidad moderada, consiguiendo un incremento del 15% en el $VO_{2\text{max}}$. Los resultados del presente estudio difieren de los hallazgos previos. Una posible explicación de la ausencia de cambios en el $VO_{2\text{max}}$ en nuestro estudio puede ser la elección del protocolo en la prueba de esfuerzo. El protocolo utilizado sobre tapiz rodante fue el test de Naughton. En él, tras un periodo de calentamiento se fijaba

una velocidad de 5,5 km/h durante toda la prueba, y cada dos minutos aumentaba la inclinación del tapiz. Debido a las características de los participantes se optó que por seguridad éstos realizaran la prueba agarrados al pasamanos delantero. Este hecho pudo provocar que aumentara la capacidad media de los sujetos y disminuyera el $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Chaitman, 2008).

Aunque el consumo de oxígeno máximo o pico ha sido usado tradicionalmente como un indicador de la capacidad de ejercicio, pocos son los individuos, independientemente de la edad, que realizan ejercicio regularmente o actividades de la vida cotidiana a intensidades del consumo máximo de oxígeno. Por tanto, examinar la respuesta cardiorrespiratoria durante el ejercicio submáximo refleja mejor los niveles habituales de trabajo que un individuo experimenta durante su día a día. Los estudios previos realizados por Takeshima et al. (2004) y Paoli et al. (2010) coinciden con los resultados del presente estudio en cuanto a las mejoras de los parámetros cardiorrespiratorios y metabólicos a nivel submáximo tras 12 semanas de entrenamiento en circuito. En el presente trabajo el consumo de O_2 a intensidades submáximas al caminar se redujo, lo cual es indicativo de una mejora en la economía de la marcha (es decir, se consume menos ante la misma carga). Este grupo de investigación especula que el entrenamiento no ha cambiado la cinemática del movimiento, aunque esto aún no se ha verificado, así que nuestros datos lo que más probablemente sugieren es que hubo una mejora en la eficiencia de conversión de energía intramuscular (p. ej. cambios en la función mitocondrial, el transporte de la glucosa o el tipo de fibra muscular, lo que ocurre con ejercicios de alta intensidad; Baar, 2006), una mejora de la condición anaeróbica (p. ej. una mejora de la tolerancia del lactato sanguíneo, un mayor aclarado; Marín-Pagán et al., 2013), una mejora de la economía neuromuscular (p. ej., un menor reclutamiento de unidades motoras ante la misma carga absoluta durante un test incremental tras un programa entrenamiento de fuerza con sobrecargas; Cadore et al., 2011a, 2011b) o un mejora en la transferencia de la fuerza de los músculos al suelo (p. ej., alteradas las propiedades mecánicas de los tendones; Reeves et al., 2004). Un menor gasto de energía, y por lo tanto una mayor economía de movimiento, deberían reducir la percepción de esfuerzo y la fatiga general durante la marcha, y puede aumentar la probabilidad de que los individuos vayan a tolerar mejor el ejercicio (McAuley,

1992) y aumentar la adherencia a este. Una evaluación más detallada de los mecanismos que sustentan la mayor economía de movimiento será un importante objetivo de investigaciones futuras.

Los cambios en la eficiencia energética influyen en el desarrollo de las tareas de la vida diaria, y la independencia de las personas mayores. La habilidad para caminar de manera eficiente y de forma segura es importante para mantener la independencia (Callisaya et al., 2010). Sin embargo, el coste energético al caminar en las personas mayores es alto, lo que puede ocasionar una fatiga temprana (Hortobagyi et al., 2009). Por lo tanto, la eficacia de un programa de entrenamiento para mejorar la salud cardiovascular y la eficiencia energética puede ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares, mejorar la economía de movimiento y mejorar la calidad de vida en individuos de mayor edad.

6.5. MOVILIDAD FUNCIONAL

La intervención provocó una mejora estadísticamente significativa en la puntuación obtenida en el equilibrio dinámico y la movilidad funcional, evaluados mediante la prueba «Timed Up and Go», en ambos grupos experimentales, no observándose cambios en el grupo control. Estos resultados están en consonancia con estudios anteriores (Evans, 1995; Fiatarone et al., 1990; Hess & Woollacott, 2005; Holviala et al., 2006; Marques et al., 2013) que avalan los beneficios funcionales que pueden obtener las personas mayores a partir de varios meses de entrenamiento de fuerza cuando las cargas de entrenamiento se realizan a alta intensidad. En 2005, Hess et al. (2005) sometieron a un grupo de personas mayores (80,9 años) a un programa de entrenamiento de fuerza con una intensidad del 80% del 1RM, tres veces por semana; y tras 10 semanas de entrenamiento mejoraron un 15,7% el rendimiento en el test «Timed Up and Go». Fiatarone et al. (1990) demostraron que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas a alta intensidad provocó mejoras en la movilidad funcional incluso en personas con más de 90 años de edad. Hasta la fecha, este estudio se presenta como el primer trabajo que valora la movilidad funcional en las personas mayores tras un programa de entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad,

obteniendo en el GEC mejoras del 13,2% en el test «Timed Up and Go» frente a un 7,8% de mejora que obtuvo el GET.

Los problemas de movilidad, son de especial relevancia en las personas mayores, ya que son un factor de riesgo de sufrir caídas. Merece la pena destacar el hecho de que las personas del presente estudio hayan mejorado su ejecución del test «Timed Up and Go», ya que según Sai et al. (2010) el test «Timed Up and Go» es el mejor test de equilibrio para predecir caídas recurrentes. Según Shumway-Cook et al. (2000), las personas mayores que tardan más de 13,5 s en ejecutar el test «Timed Up and Go» tienen un 90% de probabilidades de sufrir caídas.

En ambos grupos experimentales, se obtuvo una puntuación media pre-entrenamiento en el test «Timed Up and Go» de 10,21 s en el GEC, y de 10,85 s en el GET, lo cual según el trabajo de Shumway-Cook et al. (2000) corresponde a un riesgo de caídas aproximadamente del 20% para GEC y del 30% para GET. Tras 12 semanas de entrenamiento de fuerza, la puntuación media en el GEC fue de 8,86 s y en el GET fue de 10,00 s, lo que corresponde aproximadamente a un riesgo de caídas de 7,5% y 20% respectivamente. Por lo que como resultado del entrenamiento de fuerza con sobrecargas a alta intensidad, los participantes de ambos grupos experimentales disminuyeron su riesgo de caídas aproximadamente en un 10%. A pesar de ser un estudio que no se dirige a personas que sufren caídas, las mejoras del equilibrio dinámico y la movilidad funcional puede conducir a una aparición más tardía de la pérdida de la autonomía y la dependencia de esta población (Sturnieks, St George, & Lord, 2008).

6.6. ESTABILIDAD POSTURAL

El control postural se define como la capacidad para mantener la proyección del centro de gravedad del cuerpo dentro de los límites de la base de sustentación. Es una habilidad imprescindible para la vida diaria que requiere la integración de información sensorial acerca de la posición del cuerpo en relación al entorno, que permite generar respuestas motoras apropiadas para controlar el movimiento del cuerpo (Sturnieks et al., 2008). Los trastornos en la estabilidad representan un creciente problema de salud pública debido a su asociación con las caídas (Howe, Rochester, Neil, Skelton, & Ballinger, 2011) y las lesiones relacionadas con éstas, especialmente en las regiones del mundo en las que una gran proporción de la población son personas mayores. Con el aumento de la edad, hay un empeoramiento progresivo, y por ende un empeoramiento de la capacidad de la marcha (Sturnieks et al., 2008).

Varios estudios han demostrado que la disminución de la fuerza de las extremidades inferiores es un factor común asociado con la pérdida del control postural en ancianos (Burke, Franca, Ferreira de Meneses, Cardoso, & Marques, 2010; Hess & Woollacott, 2005). A pesar de ello, en el presente trabajo se ha observado que las personas mayores fueron capaces de realizar el entrenamiento de fuerza de alta intensidad de forma segura y satisfactoria, lo que llevó a un aumento significativo de la fuerza de los miembros inferiores. Sin embargo, no se observaron mejoras estadísticamente significativas en el control postural en bipedestación, evaluado mediante una prueba estabilométrica, en ninguno de los grupos sometidos a estudio.

La estabilidad postural se evaluó con una plataforma de fuerzas. Aunque se ha establecido la eficacia y validez de las plataformas de fuerza para evaluar la estabilidad postural en personas mayores (Pajala et al., 2008), pocos estudios han mostrado datos de estabilidad sobre plataforma de fuerzas. Han sido varios los estudios que han evaluado el equilibrio estático antes y después de un programa de entrenamiento de fuerza a alta intensidad sin encontrar relaciones significativas entre el entrenamiento de fuerza y el equilibrio estático (Bellew, Yates, & Gater, 2003; Buchner et al., 1997; Holviala et al., 2006; Schlicht,

Camaione, & Owen, 2001) al igual que sucede con los resultados del presente trabajo. Una posible causa por la que en nuestro estudio no se han obtenido mejoras en el control postural en bipedestación podría ser la elección de los ejercicios. Así, 1) es posible que la estabilidad mejore con la inclusión de ejercicios más dinámicos de peso libre (Holviala et al., 2006). En nuestro estudio se optó por el uso de máquinas de carga guiada, debido a la inexperiencia de los participantes en programas de fuerza. Este tipo de máquinas ofrecen más seguridad a los participantes en la ejecución de los movimientos, pero concentran la acción en un grupo muscular concreto, en cambio, en los ejercicios con peso libre la musculatura estabilizadora está más activa durante todo el ejercicio; 2) es posible que los ejercicios no se dirijan a la musculatura responsable del control postural, como son los músculos encargados de la flexión dorsal del tobillo (tibial anterior) (Judge, Whipple, & Wolfson, 1994). La debilidad de esta musculatura es un factor importante que contribuye a la falta de equilibrio (Lord, Ward, Williams, & Anstey, 1994; Whipple, Wolfson, & Amerman, 1987). Nosotros no evaluamos la fuerza del tibial anterior, aunque tampoco utilizamos un ejercicio para el fortalecimiento de dicho músculo. Escogimos un ejercicio de flexión plantar (elevación de talones, sentado, en máquina) por su accesibilidad; y, 3) parece necesaria la inclusión de ejercicios específicos destinados al trabajo de la estabilidad. Al igual que en el presente trabajo varios estudios han fracasado en la intención de respaldar los beneficios de los programas de entrenamiento de fuerza en la mejora del equilibrio estático, aunque estos estudios evaluaron el equilibrio estático después de llevar a cabo intervenciones sin un componente específico (Henwood & Taaffe, 2006; Manini et al., 2009). La mejora de la fuerza muscular no siempre va a cambiar el rendimiento en tareas funcionales específicas (Buchner, Larson, Wagner, Koepsell, & de Lateur, 1996). Una cuestión importante en relación con la mejora del control postural es la especificidad en el entrenamiento, los programas de entrenamiento deberían incluir combinaciones de movimientos más complejos que aquellos realizados en los programas de entrenamiento de fuerza (Farinatti, Geraldés, et al., 2013; Granacher, Muehlbauer, Zahner, Gollhofer, & Kressig, 2011; Hess & Woollacott, 2005; Marques et al., 2011).

6.7. CALIDAD DE VIDA RELACIONADA CON LA SALUD

La calidad de vida relacionada con la salud (CVRS) constituye un concepto subjetivo, medible de forma indirecta mediante un cuestionario compuesto por un conjunto de dimensiones, cada una de las cuales contribuye a cuantificar algún rasgo o aspecto relevante de este concepto. En el presente estudio, se utilizó la versión española del cuestionario SF-36 Health Survey (Alonso, Prieto, & Anto, 1995), que engloba ocho dimensiones que a su vez definen dos componentes principales de salud, el componente sumario físico y el mental. En el GEC se observaron cambios estadísticamente significativos en dos de las ocho dimensiones: función física y vitalidad, y en el componente sumario físico. En cambio, no se observaron modificaciones estadísticamente significativas en ninguna de las dimensiones que componen el cuestionario ni en el GET ni en el GC.

Al comparar los valores iniciales de los participantes en nuestro trabajo con los valores de referencia para la población española mayor de 60 años (Tabla 12), observamos que las puntuaciones de nuestro estudio fueron muy positivas, lo que indica que los participantes se encontraban en un buen estado de salud física y mental y, por tanto, los efectos de los programas de entrenamiento son más difíciles de detectar que, por ejemplo, en personas que viven en residencias o que padecen alguna patología. Así, aunque en el GET no se encontraran diferencias estadísticamente significativas, probablemente aumentado la muestra de estudio observaríamos cambios en algunas de las dimensiones que componen el cuestionario, ya que este grupo mostró tendencia a la significación en la dimensión función física ($p = 0,052$), y en el componente sumario físico ($p = 0,071$).

Tabla 12

Datos de referencia sobre la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud, evaluada con la versión española del cuestionario SF-36. Valores dados como media \pm desviación estándar.

	GEC (n = 16)	GET (n = 14)	GC (n = 7)	López-García et al. (2003) (n = 1721)
Función física	75,6 \pm 24,2	79,3 \pm 16,8	82,9 \pm 14,4	65,7 \pm 29,8
Rol físico	86,8 \pm 33,2	83,3 \pm 36,2	71,4 \pm 48,8	73,3 \pm 41,1
Dolor corporal	72,0 \pm 24,8	69,3 \pm 22,6	60,9 \pm 18,8	68,4 \pm 29,9
Salud general	63,5 \pm 17,2	66,1 \pm 17,1	60,1 \pm 16,2	55,9 \pm 21,5
Vitalidad	67,4 \pm 25,1	65,7 \pm 19,4	66,4 \pm 20,1	60,5 \pm 24,7
Función social	87,5 \pm 19,8	85,0 \pm 21,8	83,9 \pm 27,7	79,2 \pm 28,0
Rol emocional	84,3 \pm 31,4	84,4 \pm 35,3	57,1 \pm 46,0	84,8 \pm 32,9
Salud mental	75,3 \pm 18,7	74,9 \pm 21,8	68,0 \pm 15,7	68,3 \pm 22,3

GEC: grupo de entrenamiento de fuerza en circuito; GET: grupo de entrenamiento de fuerza tradicional; GC: grupo control.

De acuerdo a nuestro conocimiento, este es el primer estudio que valora la percepción de la calidad de vida en personas mayores sometidas a un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad. Es relevante constatar que una intervención de 12 semanas produjo no sólo una mejoría a nivel físico (composición corporal, fuerza, movilidad, etc.), sino también una mejoría de una variable psicológica como es la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud en el grupo de entrenamiento en circuito. Este efecto puede contribuir a que el programa tenga una buena adhesión por parte de los participantes.

Han sido varios los trabajos que han estudiado el efecto del entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional de alta intensidad sobre los parámetros subjetivos de calidad de vida en personas mayores, obteniendo resultados similares a los del estudio que nos ocupa. Así, Cassilhas et al. (2007) evaluaron si

la intensidad del entrenamiento de fuerza podía afectar a la percepción de la CVRS, y tras 24 semanas de entrenamiento, observaron que el grupo que entrenó con una intensidad del 50% del 1RM mejoró algunas dimensiones relativas a la CVRS evaluadas con el cuestionario SF-36, no haciéndolo el grupo que entrenó con intensidades del 80% del 1RM. Otro estudio que valoró los efectos de un entrenamiento de fuerza de alta intensidad sobre la percepción de la CVRS, fue el llevado a cabo recientemente por Sillanpaa et al. (2012). En dicho estudio, establecieron cuatro grupos: un grupo control, un grupo de resistencia en cicloergómetro, un grupo de fuerza de alta intensidad y un grupo que combinó ambos entrenamientos. Tras 21 semanas de entrenamiento se observaron mejoras estadísticamente significativas en varias dimensiones del cuestionario SF-36 en el grupo que entrenó resistencia y en el grupo que combinó ambos tipos de entrenamiento, no observándose variaciones en el grupo de fuerza con sobrecargas ni en el grupo control. Los resultados de los estudios anteriores parecen indicar que tanto el entrenamiento de fuerza con sobrecargas de intensidad moderada como el entrenamiento de resistencia aeróbica son eficaces para mejorar la percepción de la CVRS en adultos mayores, no habiéndose objetivado estas mejoras con un entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional de alta intensidad.

Si bien es cierto, el efecto del entrenamiento de fuerza, aun trabajando a intensidades moderadas, sobre la percepción de la calidad de vida evaluada mediante el cuestionario SF-36 es controvertido, a pesar de ser un instrumento ampliamente utilizado en la literatura científica. Kimura et al. (2010) después de 12 semanas observaron mejoras en el parámetro de salud mental, Cassilhas et al. (2007), tras 24 semanas evidenciaron mejoras en los parámetros de salud general y vitalidad, De Vreede et al. (2007) después de 12 semanas observaron beneficios en el parámetro de la función física, Inaba et al. (2008) después de 12 semanas objetivaron mejoras en los parámetros de función física, vitalidad, y salud mental. Es posible que las expectativas sociales, la necesidad de cumplimiento del entrenamiento y la experiencia de la persona en la vida cotidiana afectan a la percepción de la CVRS.

VII. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones del estudio. Se debe tener en cuenta que las mismas son aplicables únicamente a personas mayores de características similares a las del presente trabajo:

Conclusión 1: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó beneficios en la composición corporal, disminuyendo la masa grasa, y aumentando la masa muscular y la densidad mineral ósea.

Conclusión 2: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó incrementos de la fuerza en la flexión/extensión de la articulación del codo y de la rodilla tras 12 semanas de entrenamiento.

Conclusión 3: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó incrementos de la tensión específica (calidad muscular) en las extremidades inferiores tras 12 semanas de entrenamiento.

Conclusión 4: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó beneficios sobre el consumo de oxígeno relativo a la masa libre de grasa en el minuto 1 y 3 tras el comienzo de una prueba de esfuerzo. No se produjeron mejoras en el consumo de oxígeno relativo a la masa libre de grasa en el segundo umbral ventilatorio ni en $VO_{2\text{pico}}$ relativo a la masa libre de grasa.

Conclusión 5: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejoró la eficiencia energética caminando en el minuto 1, 3 y 5 tras el comienzo de una prueba de esfuerzo.

Conclusión 6: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó una mejora de la movilidad funcional, reflejo de un descenso en el tiempo de ejecución del test «Timed Up and Go».

Conclusión 7: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad no provocó una mejora de la estabilidad postural tras 12 semanas de entrenamiento.

Conclusión 8: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó una mejora en las dimensiones función física, vitalidad y sumario físico del cuestionario SF-36 sobre la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud.

Conclusión 9: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó mayor descenso del porcentaje de grasa corporal que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Conclusión 10: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó incrementos de la masa libre de grasa y de la densidad mineral ósea similares al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional. Solamente las ganancias de masa libre de grasa fueron mayores en el entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito al compararlas con el grupo control.

Conclusión 11: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó incrementos de la fuerza en la extremidad inferior y superior similares a los provocados por el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y en ambos, dichos incrementos son mayores que los producidos en el grupo control en la flexión del codo y la extensión de la rodilla a la velocidad angular de $90^{\circ}\cdot s^{-1}$.

Conclusión 12: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad provocó incrementos en la tensión específica en la extremidad inferior similares a los provocados por el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, y en ambos, dichos incrementos son mayores que los producidos en el grupo control.

Conclusión 13: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad no provocó mayores adaptaciones cardiorrespiratorias que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Conclusión 14: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad no provocó una mayor aumento en la eficiencia energética al caminar que el entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional y que el grupo control.

Conclusión 15: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad mejoró movilidad funcional de personas mayores de forma similar al entrenamiento de fuerza con sobrecargas tradicional, pero solamente los beneficios del entrenamiento de fuerza con sobrecargas fueron mayores que el grupo control.

Conclusión 16: El entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad no mejoró la estabilidad postural tras 12 semanas de entrenamiento, tampoco lo hicieron los demás grupo sometidos a estudio.

Conclusión 17: Tras 12 semanas de entrenamiento no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los grupos sometidos a estudio en la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud.

VII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Durante el desarrollo de esta investigación muchos han sido los problemas que se han presentado y que han modificado la evolución y el resultado final de la misma. Problemas que han hecho que hayamos tenido que trabajar con una población descompensada entre grupos, con un grupo control muy reducido. La población de nuestro estudio son sujetos que habían manifestado voluntariamente su deseo de participar en el programa, de forma que no se trata de una población elegida al azar, y por ello, nuestros resultados no pueden generalizarse al resto de la población anciana. Por lo tanto, la validez externa del estudio queda reducida a la población con características similares a la que ha participado en el programa, esto es, personas mayores independientes, con deseo de participar en actividades lúdicas y de entretenimiento, ofrecidas por las distintas asociaciones municipales.

VIII. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

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

- Valorar los efectos agudos de un entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad para comprobar cómo evoluciona la frecuencia cardíaca durante el entrenamiento, el consumo de oxígeno durante y post-entrenamiento.
- Valorar los efectos de un programa entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad, durante al menos seis meses, sobre el contenido mineral óseo y la densidad mineral ósea.
- Valorar los efectos de un programa entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad, durante al menos seis meses, sobre posibles modificaciones cardíacas.
- Valorar los efectos de un programa entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad, durante al menos seis meses, en sujetos con diabetes.
- Comparar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con sobrecargas en circuito a alta intensidad con un programa de potencia en circuito sobre parámetros cardiorrespiratorios, musculares y óseos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abernethy, P. J., Jurimae, J., Logan, P. A., Taylor, A. W., & Thayer, R. E. (1994). Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Med*, 17(1), 22-38.
- Alcaraz, P. E., Perez-Gomez, J., Chavarrias, M., & Blazevich, A. J. (2011). Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2519-2527.
- Alcaraz, P. E., Sanchez-Lorente, J., & Blazevich, A. J. (2008). Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *J Strength Cond Res*, 22(3), 667-671.
- Alonso, J., Prieto, L., & Anto, J. M. (1995). La versión española del SF-36 Health Survey (Cuestionario de Salud SF-36): un instrumento para la medida de los resultados clínicos. *Med Clin (Barc)*, 104, 771-776.
- Arena, R., Myers, J., Williams, M. A., Gulati, M., Kligfield, P., Balady, G. J., . . . American Heart Association Council on Cardiovascular, N. (2007). Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*, 116(3), 329-343.
- Armstrong, T., & Bull, F. (2006). Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *J Public Health*, 14, 66-70.
- Arnett, S. W., Laity, J. H., Agrawal, S. K., & Cress, M. E. (2008). Aerobic reserve and physical functional performance in older adults. *Age Ageing*, 37(4), 384-389.
- Arós, F., Boraita, A., Alegría, E., Alonso, A. M., Bardají, A., Lamiel, R., . . . Wilke, M. (2000). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en pruebas de esfuerzo. *Rev Esp Cardiol*, 53(8), 1-33.

- Asikainen, T. M., Kukkonen-Harjula, K., & Miilunpalo, S. (2004). Exercise for health for early postmenopausal women: a systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med*, 34(11), 753-778.
- Astrand, I., Astrand, P. O., Hallback, I., & Kilbom, A. (1973). Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol*, 35(5), 649-654.
- Baar, K. (2006). Training for endurance and strength: lessons from cell signaling. *Med Sci Sports Exerc*, 38(11), 1939-1944.
- Balady, G. J. (2002). Survival of the fittest--more evidence. *N Engl J Med*, 346(11), 852-854.
- Barbat-Artigas, S., Rolland, Y., Zamboni, M., & Aubertin-Leheudre, M. (2012). How to assess functional status: a new muscle quality index. *J Nutr Health Aging*, 16(1), 67-77.
- Barry, B. K., & Carson, R. G. (2004). The consequences of resistance training for movement control in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 59(7), 730-754.
- Beere, P. A., Russell, S. D., Morey, M. C., Kitzman, D. W., & Higginbotham, M. B. (1999). Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation*, 100(10), 1085-1094.
- Beltran Valls, M. R., Dimauro, I., Brunelli, A., Tranchita, E., Ciminelli, E., Caserotti, P., . . . Caporossi, D. (2014). Explosive type of moderate-resistance training induces functional, cardiovascular, and molecular adaptations in the elderly. *Age (Dordr)*, 36(2), 759-772.
- Bellew, J. W., Yates, J. W., & Gater, D. R. (2003). The initial effects of low-volume strength training on balance in untrained older men and women. *J Strength Cond Res*, 17(1), 121-128.
- Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2011). Dose-response effect of 40 weeks of resistance training on bone mineral density in older adults. *Osteoporos Int*, 22(1), 179-186.
- Berger, R. A. (1962). Optimum repetitions for the development of strength. *Res Q*, 33, 334-338.
- Betik, A. C., & Hepple, R. T. (2008). Determinants of VO₂ max decline with aging: an integrated perspective. *Appl Physiol Nutr Metab*, 33(1), 130-140.

- Black, A. E., Coward, W. A., Cole, T. J., & Prentice, A. M. (1996). Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr*, 50(2), 72-92.
- Blair, S. N., Kohl, H. W., 3rd, Barlow, C. E., Paffenbarger, R. S., Jr., Gibbons, L. W., & Macera, C. A. (1995). Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA*, 273(14), 1093-1098.
- Bocalini, D. S., Lima, L. S., de Andrade, S., Madureira, A., Rica, R. L., Dos Santos, R. N., . . . Pontes, F. L., Jr. (2012). Effects of circuit-based exercise programs on the body composition of elderly obese women. *Clin Interv Aging*, 7, 551-556.
- Bottaro, M., Machado, S. N., Nogueira, W., Scales, R., & Veloso, J. (2007). Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol*, 99(3), 257-264.
- Braun, W. A., Hawthorne, W. E., & Markofski, M. M. (2005). Acute EPOC response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption. *Eur J Appl Physiol*, 94(5-6), 500-504.
- Brentano, M. A., Cadore, E. L., Da Silva, E. M., Ambrosini, A. B., Coertjens, M., Petkowicz, R., . . . Kruel, L. F. (2008). Physiological adaptations to strength and circuit training in postmenopausal women with bone loss. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1816-1825.
- Brown, L. E. (2000). *Isokinetics in human performance*. Champaign: Human Kinetics.
- Buchner, D. M., Cress, M. E., de Lateur, B. J., Esselman, P. C., Margherita, A. J., Price, R., & Wagner, E. H. (1997). The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 52(4), M218-224.
- Buchner, D. M., Larson, E. B., Wagner, E. H., Koepsell, T. D., & de Lateur, B. J. (1996). Evidence for a non-linear relationship between leg strength and gait speed. *Age Ageing*, 25(5), 386-391.
- Burke, T. N., Franca, F. J., Ferreira de Meneses, S. R., Cardoso, V. I., & Marques, A. P. (2010). Postural control in elderly persons with osteoporosis: Efficacy of an intervention program to improve balance and muscle strength: a randomized controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil*, 89(7), 549-556.

- Cadore, E. L., Izquierdo, M., Alberman, C. L., Pinto, R. S., Conceicao, M., Cunha, G., . . . Krueger, L. F. (2012). Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Exp Gerontol*, 47(2), 164-169.
- Cadore, E. L., Izquierdo, M., Pinto, S. S., Alberman, C. L., Pinto, R. S., Baroni, B. M., . . . Krueger, L. F. (2013). Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. *Age (Dordr)*, 35(3), 891-903.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Alberman, C. L., Pinto, S. S., Lhullier, F. L., Tartaruga, M. P., . . . Krueger, L. F. (2011). Neuromuscular economy, strength, and endurance in healthy elderly men. *J Strength Cond Res*, 25(4), 997-1003.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Bottaro, M., & Izquierdo, M. (2014). Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. *Aging Dis*, 5(3), 183-195.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Lhullier, F. L., Correa, C. S., Alberman, C. L., Pinto, S. S., . . . Krueger, L. F. (2010). Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int J Sports Med*, 31(10), 689-697.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Pinto, S. S., Alberman, C. L., Correa, C. S., Tartaruga, M. P., . . . Krueger, L. F. (2011). Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J Strength Cond Res*, 25(3), 758-766.
- Cadore, E. L., Rodriguez-Manas, L., Sinclair, A., & Izquierdo, M. (2013). Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation Res*, 16(2), 105-114.
- Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *J Appl Physiol*, 51(3), 750-754.
- Callisaya, M. L., Blizzard, L., Schmidt, M. D., McGinley, J. L., & Srikanth, V. K. (2010). Ageing and gait variability--a population-based study of older people. *Age Ageing*, 39(2), 191-197.

- Camargo, M. D., Stein, R., Ribeiro, J. P., Schwartzman, P. R., Rizzatti, M. O., & Schaan, B. D. (2008). Circuit weight training and cardiac morphology: a trial with magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med*, 42(2), 141-145.
- Candow, D. G., Chilibeck, P. D., Abeysekara, S., & Zello, G. A. (2011). Short-term heavy resistance training eliminates age-related deficits in muscle mass and strength in healthy older males. *J Strength Cond Res*, 25(2), 326-333.
- Carnethon, M. R., Gidding, S. S., Nehgme, R., Sidney, S., Jacobs, D. R., Jr., & Liu, K. (2003). Cardiorespiratory fitness in young adulthood and the development of cardiovascular disease risk factors. *JAMA*, 290(23), 3092-3100.
- Cassilhas, R. C., Viana, V. A., Grassmann, V., Santos, R. T., Santos, R. F., Tufik, S., & Mello, M. T. (2007). The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. *Med Sci Sports Exerc*, 39(8), 1401-1407.
- Castillo-Garzón, M. J., Ortega-Porcel, F. B., & Ruiz-Ruiz, J. (2005). Mejora de la forma física como terapia antienvjecimiento. *Med Clin (Barc)*, 124(4), 145-155.
- Clark, D. J., & Fielding, R. A. (2012). Neuromuscular contributions to age-related weakness. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 67(1), 41-47.
- Córdoba, R., Cabezas, C., Camaralles, F., Gómez, J., Díaz-Herráez, D., López, A., . . . Ramírez, J. I. (2012). Recomendaciones sobre el estilo de vida. *Aten Primaria*, 44(Suppl 1), 16-22.
- Cress, M. E., Buchner, D. M., Questad, K. A., Esselman, P. C., deLateur, B. J., & Schwartz, R. S. (1999). Exercise: effects on physical functional performance in independent older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 54(5), M242-248.
- Cussler, E. C., Lohman, T. G., Going, S. B., Houtkooper, L. B., Metcalfe, L. L., Flint-Wagner, H. G., . . . Teixeira, P. J. (2003). Weight lifted in strength training predicts bone change in postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc*, 35(1), 10-17.
- Chaitman, B. R. (2008). Prueba de esfuerzo. In P. Libby, R. O. Bonow, D. L. Mann & D. P. Zipes (Eds.), *Braunwald. Tratado de cardiología* (8 ed., Vol. I, pp. 195). Barcelona: Elsevier España.
- Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). American College of Sports

- Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(7), 1510-1530.
- Christensen, K., McGue, M., Petersen, I., Jeune, B., & Vaupel, J. W. (2008). Exceptional longevity does not result in excessive levels of disability. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 105(36), 13274-13279.
- Chtara, M., Chaouachi, A., Levin, G. T., Chaouachi, M., Chamari, K., Amri, M., & Laursen, P. B. (2008). Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1037-1045.
- Davidovic, M., Sevo, G., Svorcan, P., Milosevic, D. P., Despotovic, N., & Erceg, P. (2010). Old age as a privilege of the "selfish ones". *Aging Dis*, 1(2), 139-146.
- de Vreede, P. L., van Meeteren, N. L., Samson, M. M., Wittink, H. M., Duursma, S. A., & Verhaar, H. J. (2007). The effect of functional tasks exercise and resistance exercise on health-related quality of life and physical activity. A randomised controlled trial. *Gerontology*, 53(1), 12-20.
- Dogra, S., Spencer, M. D., & Paterson, D. H. (2012). Higher cardiorespiratory fitness in older trained women is due to preserved stroke volume. *J Sports Sci Med*, 11(4), 745-750.
- Ehsani, A. A., Ogawa, T., Miller, T. R., Spina, R. J., & Jilka, S. M. (1991). Exercise training improves left ventricular systolic function in older men. *Circulation*, 83(1), 96-103.
- Ehsani, A. A., Spina, R. J., Peterson, L. R., Rinder, M. R., Glover, K. L., Villareal, D. T., . . . Holloszy, J. O. (2003). Attenuation of cardiovascular adaptations to exercise in frail octogenarians. *J Appl Physiol (1985)*, 95(5), 1781-1788.
- Evans, W. J. (1995). Effects of exercise on body composition and functional capacity of the elderly. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 50 Spec No, 147-150.
- Evans, W. J. (1999). Exercise training guidelines for the elderly. *Med Sci Sports Exerc*, 31(1), 12-17.
- Fahlman, M. M., Boardley, D., Lambert, C. P., & Flynn, M. G. (2002). Effects of endurance training and resistance training on plasma lipoprotein profiles in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 57(2), B54-60.

- Farinatti, P. T., da Silva, N. S., & Monteiro, W. D. (2013). Influence of exercise order on the number of repetitions, oxygen uptake, and rate of perceived exertion during strength training in younger and older women. *J Strength Cond Res*, 27(3), 776-785.
- Farinatti, P. T., Gerales, A. A., Bottaro, M. F., Lima, M. V., Albuquerque, R. B., & Fleck, S. J. (2013). Effects of different resistance training frequencies on the muscle strength and functional performance of active women older than 60 years. *J Strength Cond Res*, 27(8), 2225-2234.
- Fatone, C., Guescini, M., Balducci, S., Battistoni, S., Settequattrini, A., Pippi, R., . . . De Feo, P. (2010). Two weekly sessions of combined aerobic and resistance exercise are sufficient to provide beneficial effects in subjects with Type 2 diabetes mellitus and metabolic syndrome. *J Endocrinol Invest*, 33(7), 489-495.
- Ferketich, A. K., Kirby, T. E., & Alway, S. E. (1998). Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiol Scand*, 164(3), 259-267.
- Fiatarone, M. A. (2004). Exercise and aging. *Clin Geriatr Med*, 20(2), 201-221.
- Fiatarone, M. A., Marks, E. C., Ryan, N. D., Meredith, C. N., Lipsitz, L. A., & Evans, W. J. (1990). High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA*, 263(22), 3029-3034.
- Figueroa, A., Park, S. Y., Seo, D. Y., Sanchez-Gonzalez, M. A., & Baek, Y. H. (2011). Combined resistance and endurance exercise training improves arterial stiffness, blood pressure, and muscle strength in postmenopausal women. *Menopause*, 18(9), 980-984.
- Fleg, J. L., Morrell, C. H., Bos, A. G., Brant, L. J., Talbot, L. A., Wright, J. G., & Lakatta, E. G. (2005). Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circulation*, 112(5), 674-682.
- Fragala, M. S., Fukuda, D. H., Stout, J. R., Townsend, J. R., Emerson, N. S., Boone, C. H., . . . Hoffman, J. R. (2014). Muscle quality index improves with resistance exercise training in older adults. *Exp Gerontol*, 53, 1-6.
- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., & Evans, W. J. (1990). Strength training and determinants of VO₂max in older men. *J Appl Physiol*, 68(1), 329-333.

- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Knuttgen, H. G., & Evans, W. J. (1988). Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol*, 64(3), 1038-1044.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 34(10), 663-679.
- Galvão, D. A., & Taaffe, D. R. (2005). Resistance training for the older adult: Manipulating training variables to enhance muscle strength. *Strength and Conditioning Journal*, 25(3), 48-54.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., . . . Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1334-1359.
- Gennuso, K. P., Gangnon, R. E., Matthews, C. E., Thraen-Borowski, K. M., & Colbert, L. H. (2013). Sedentary behavior, physical activity, and markers of health in older adults. *Med Sci Sports Exerc*.
- Gettman, L. R., Ayres, J. J., Pollock, M. L., Durstine, J. L., & Grantham, W. (1979). Physiologic effects on adult men of circuit strength training and jogging. *Arch Phys Med Rehabil*, 60(March), 115-120.
- Gettman, L. R., Ayres, J. J., Pollock, M. L., & Jackson, A. (1978). The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med Sci Sports*, 10(3), 171-176.
- Gettman, L. R., Ward, P., & Hagan, R. D. (1982). A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc*, 14(3), 229-234.
- Gómez-Cabello, A., Ara, I., González-Aguero, A., Casajus, J. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2012). Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med*, 42(4), 301-325.
- Granacher, U., Gruber, M., & Gollhofer, A. (2010). Force production capacity and functional reflex activity in young and elderly men. *Aging Clin Exp Res*, 22(5-6), 374-382.

- Granacher, U., Muehlbauer, T., Zahner, L., Gollhofer, A., & Kressig, R. W. (2011). Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and strength in older adults. *Sports Med*, 41(5), 377-400.
- Green, D. J., Watts, K., Maiorana, A. J., & O'Driscoll, J. G. (2001). A comparison of ambulatory oxygen consumption during circuit training and aerobic exercise in patients with chronic heart failure. *J Cardiopulm Rehabil*, 21(3), 167-174.
- Guadalupe-Grau, A., Fuentes, T., Guerra, B., & Calbet, J. A. (2009). Exercise and bone mass in adults. *Sports Med*, 39(6), 439-468.
- Gulati, M., Black, H. R., Shaw, L. J., Arnsdorf, M. F., Merz, C. N., Lauer, M. S., . . . Thisted, R. A. (2005). The prognostic value of a nomogram for exercise capacity in women. *N Engl J Med*, 353(5), 468-475.
- Gulati, M., Pandey, D. K., Arnsdorf, M. F., Lauderdale, D. S., Thisted, R. A., Wicklund, R. H., . . . Black, H. R. (2003). Exercise capacity and the risk of death in women: the St James Women Take Heart Project. *Circulation*, 108(13), 1554-1559.
- Hagberg, J. M., Graves, J. E., Limacher, M., Woods, D. R., Leggett, S. H., Cononie, C., . . . Pollock, M. L. (1989). Cardiovascular responses of 70- to 79-yr-old men and women to exercise training. *J Appl Physiol* (1985), 66(6), 2589-2594.
- Hagerman, F. C., Walsh, S. J., Staron, R. S., Hikida, R. S., Gilders, R. M., Murray, T. F., . . . Ragg, K. E. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(7), B336-346.
- Hakkinen, K., & Hakkinen, A. (1991). Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(6), 410-414.
- Hakkinen, K., Kraemer, W. J., Newton, R. U., & Alen, M. (2001). Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand*, 171(1), 51-62.
- Hakkinen, K., Kraemer, W. J., Pakarinen, A., Triplett-McBride, T., McBride, J. M., Hakkinen, A., . . . Newton, R. U. (2002). Effects of heavy resistance/power

- training on maximal strength, muscle morphology, and hormonal response patterns in 60-75-year-old men and women. *Can J Appl Physiol*, 27(3), 213-231.
- Haltom, R. W., Kraemer, R. R., Sloan, R. A., Hebert, E. P., Frank, K., & Tryniecki, J. L. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc*, 31(11), 1613-1618.
- Harber, M. P., Fry, A. C., Rubin, M. R., Smith, J. C., & Weiss, L. W. (2004). Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scand J Med Sci Sports*, 14(3), 176-185.
- Hartman, M. J., Fields, D. A., Byrne, N. M., & Hunter, G. R. (2007). Resistance training improves metabolic economy during functional tasks in older adults. *J Strength Cond Res*, 21(1), 91-95.
- Hawkins, S. A., Wiswell, R. A., & Marcell, T. J. (2003). Exercise and the master athlete--a model of successful aging? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 58(11), 1009-1011.
- Hazley, L., Ingle, L., Tsakirides, C., Carroll, S., & Nagi, D. (2010). Impact of a short-term, moderate intensity, lower volume circuit resistance training programme on metabolic risk factors in overweight/obese type 2 diabetics. *Res Sports Med*, 18(4), 251-262.
- Henwood, T. R., & Taaffe, D. R. (2006). Short-term resistance training and the older adult: the effect of varied programmes for the enhancement of muscle strength and functional performance. *Clin Physiol Funct Imaging*, 26(5), 305-313.
- Hepple, R. T., Mackinnon, S. L., Goodman, J. M., Thomas, S. G., & Plyley, M. J. (1997). Resistance and aerobic training in older men: effects on VO₂peak and the capillary supply to skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 82(4), 1305-1310.
- Hess, J. A., & Woollacott, M. (2005). Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in balance-impaired older adults. *J Manipulative Physiol Ther*, 28(8), 582-590.
- Holviola, J. H., Sallinen, J. M., Kraemer, W. J., Alen, M. J., & Hakkinen, K. K. (2006). Effects of strength training on muscle strength characteristics, functional capabilities, and balance in middle-aged and older women. *J Strength Cond Res*, 20(2), 336-344.

- Hortobagyi, T., Solnik, S., Gruber, A., Rider, P., Steinweg, K., Helseth, J., & DeVita, P. (2009). Interaction between age and gait velocity in the amplitude and timing of antagonist muscle coactivation. *Gait Posture*, 29(4), 558-564.
- Howe, T. E., Rochester, L., Neil, F., Skelton, D. A., & Ballinger, C. (2011). Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database Syst Rev*(11), CD004963.
- Huang, G., Shi, X., Davis-Brezette, J. A., & Osness, W. H. (2005). Resting heart rate changes after endurance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 37(8), 1381-1386.
- Huang, G., Shi, X., Gibson, C. A., Huang, S. C., Coudret, N. A., & Ehlman, M. C. (2013). Controlled aerobic exercise training reduces resting blood pressure in sedentary older adults. *Blood Press*, 22(6), 386-394.
- Hunter, G. R., Bryan, D. R., Wetzstein, C. J., Zuckerman, P. A., & Bamman, M. M. (2002). Resistance training and intra-abdominal adipose tissue in older men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 34(6), 1023-1028.
- Hunter, G. R., Byrne, N. M., Sirikul, B., Fernandez, J. R., Zuckerman, P. A., Darnell, B. E., & Gower, B. A. (2008). Resistance training conserves fat-free mass and resting energy expenditure following weight loss. *Obesity (Silver Spring)*, 16(5), 1045-1051.
- Hunter, G. R., McCarthy, J. P., & Bamman, M. M. (2004). Effects of resistance training on older adults. *Sports Med*, 34(5), 329-348.
- Hunter, G. R., Wetzstein, C. J., Fields, D. A., Brown, A., & Bamman, M. M. (2000). Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol*, 89(3), 977-984.
- Hurley, B. F., & Hagberg, J. M. (1998). Optimizing health in older persons: aerobic or strength training? *Exerc Sport Sci Rev*, 26, 61-89.
- Hurley, B. F., Seals, D. R., Ehsani, A. A., Cartier, L. J., Dalsky, G. P., Hagberg, J. M., & Holloszy, J. O. (1984). Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Med Sci Sports Exerc*, 16(5), 483-488.
- Hyatt, R. H., Whitelaw, M. N., Bhat, A., Scott, S., & Maxwell, J. D. (1990). Association of muscle strength with functional status of elderly people. *Age Ageing*, 19(5), 330-336.

- Inaba, Y., Obuchi, S., Arai, T., Satake, K., & Takahira, N. (2008). The long-term effects of progressive resistance training on health-related quality in older adults. *J Physiol Anthropol*, 27(2), 57-61.
- INE. (2012). Proyecto de población a largo plazo (2012-2052), *Nota de prensa*, 19 de noviembre de 2012. Retrieved from <http://www.ine.es/prensa/np744.pdf>
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Gorostiaga, E., Garrues, M., Zuniga, A., Anton, A., . . . Hakkinen, K. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiol Scand*, 167(1), 57-68.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., K, H. A., Kraemer, W. J., Larrion, J. L., & Gorostiaga, E. M. (2004). Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc*, 36(3), 435-443.
- Janssen, I., & Ross, R. (2005). Linking age-related changes in skeletal muscle mass and composition with metabolism and disease. *J Nutr Health Aging*, 9(6), 408-419.
- Jin, K. (2010). Modern biological theories of aging. *Aging Dis*, 1(2), 72-74.
- Josefsson, T., Lindwall, M., & Archer, T. (2013). Physical exercise intervention in depressive disorders: Meta-analysis and systematic review. *Scand J Med Sci Sports*.
- Joseph, L. J., Davey, S. L., Evans, W. J., & Campbell, W. W. (1999). Differential effect of resistance training on the body composition and lipoprotein-lipid profile in older men and women. *Metabolism*, 48(11), 1474-1480.
- Jubrias, S. A., Esselman, P. C., Price, L. B., Cress, M. E., & Conley, K. E. (2001). Large energetic adaptations of elderly muscle to resistance and endurance training. *J Appl Physiol* (1985), 90(5), 1663-1670.
- Judge, J. O., Whipple, R. H., & Wolfson, L. I. (1994). Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. *J Am Geriatr Soc*, 42(9), 937-946.
- Karavirta, L., Tulppo, M. P., Laaksonen, D. E., Nyman, K., Laukkanen, R. T., Kinnunen, H., . . . Hakkinen, K. (2009). Heart rate dynamics after combined endurance and strength training in older men. *Med Sci Sports Exerc*, 41(7), 1436-1443.

- Karlsson, M. K., Magnusson, H., von Schewelow, T., & Rosengren, B. E. (2013). Prevention of falls in the elderly--a review. *Osteoporos Int*, 24(3), 747-762.
- Katsanos, C. S. (2006). Prescribing aerobic exercise for the regulation of postprandial lipid metabolism : current research and recommendations. *Sports Med*, 36(7), 547-560.
- Kay, S. J., & Fiatarone Singh, M. A. (2006). The influence of physical activity on abdominal fat: a systematic review of the literature. *Obes Rev*, 7(2), 183-200.
- Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Tran, Z. V. (2000). Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis. *J Appl Physiol (1985)*, 88(5), 1730-1736.
- Kerr, D., Morton, A., Dick, I., & Prince, R. (1996). Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent. *J Bone Miner Res*, 11(2), 218-225.
- Kim, S. B., & O'Sullivan D, M. (2013). Effects of aqua aerobic therapy exercise for older adults on muscular strength, agility and balance to prevent falling during gait. *J Phys Ther Sci*, 25(8), 923-927.
- Kimura, K., Obuchi, S., Arai, T., Nagasawa, H., Shiba, Y., Watanabe, S., & Kojima, M. (2010). The influence of short-term strength training on health-related quality of life and executive cognitive function. *J Physiol Anthropol*, 29(3), 95-101.
- Klein, C. S., Marsh, G. D., Petrella, R. J., & Rice, C. L. (2003). Muscle fiber number in the biceps brachii muscle of young and old men. *Muscle Nerve*, 28(1), 62-68.
- Kohrt, W. M., Bloomfield, S. A., Little, K. D., Nelson, M. E., Yingling, V. R., & American College of Sports, M. (2004). American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc*, 36(11), 1985-1996.
- Kohrt, W. M., Ehsani, A. A., & Birge, S. J., Jr. (1997). Effects of exercise involving predominantly either joint-reaction or ground-reaction forces on bone mineral density in older women. *J Bone Miner Res*, 12(8), 1253-1261.
- Kosek, D. J., Kim, J. S., Petrella, J. K., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and

- myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J Appl Physiol*, 101(2), 531-544.
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Newton, R. U., Nindl, B. C., Volek, J. S., McCormick, M., . . . Evans, W. J. (1999). Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol*, 87(3), 982-992.
- Kraemer, W. J., Nindl, B. C., Ratamess, N. A., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Fleck, S. J., . . . Hakkinen, K. (2004). Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 697-708.
- Kryger, A. I., & Andersen, J. L. (2007). Resistance training in the oldest old: consequences for muscle strength, fiber types, fiber size, and MHC isoforms. *Scand J Med Sci Sports*, 17(4), 422-430.
- Latham, N. K., Bennett, D. A., Stretton, C. M., & Anderson, C. S. (2004). Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 59(1), 48-61.
- Laukkanen, P., Heikkinen, E., & Kauppinen, M. (1995). Muscle strength and mobility as predictors of survival in 75-84-year-old people. *Age Ageing*, 24(6), 468-473.
- Lee, I. M., & Skerrett, P. J. (2001). Physical activity and all-cause mortality: what is the dose-response relation? *Med Sci Sports Exerc*, 33(6 Suppl), S459-471; discussion S493-454.
- Leenders, M., Verdijk, L. B., van der Hoeven, L., van Kranenburg, J., Nilwik, R., & van Loon, L. J. (2013). Elderly men and women benefit equally from prolonged resistance-type exercise training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 68(7), 769-779.
- Levy, W. C., Cerqueira, M. D., Harp, G. D., Johannessen, K. A., Abrass, I. B., Schwartz, R. S., & Stratton, J. R. (1998). Effect of endurance exercise training on heart rate variability at rest in healthy young and older men. *Am J Cardiol*, 82(10), 1236-1241.
- Lexell, J., Downham, D. Y., Larsson, Y., Bruhn, E., & Morsing, B. (1995). Heavy-resistance training in older Scandinavian men and women: short- and long-term effects on arm and leg muscles. *Scand J Med Sci Sports*, 5(6), 329-341.

- Lindle, R. S., Metter, E. J., Lynch, N. A., Fleg, J. L., Fozard, J. L., Tobin, J., . . . Hurley, B. F. (1997). Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol* (1985), 83(5), 1581-1587.
- Lohman, T., Going, S., Pamentier, R., Hall, M., Boyden, T., Houtkooper, L., . . . Aickin, M. (1995). Effects of resistance training on regional and total bone mineral density in premenopausal women: a randomized prospective study. *J Bone Miner Res*, 10(7), 1015-1024.
- López-García, E., Banegas, J. R., Graciani Pérez-Regadera, A., Gutiérrez-Fisac, J. L., Alonso, J., & Rodríguez-Artalejo, F. (2003). Valores de referencia de la versión española del Cuestionario de Salud SF-36 en población adulta de más de 60 años. *Med Clin (Barc)*, 120(15), 568-573.
- Lord, S. R., Ward, J. A., Williams, P., & Anstey, K. J. (1994). Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. *J Am Geriatr Soc*, 42(10), 1110-1117.
- Lovell, D. I., Cuneo, R., & Gass, G. C. (2009). Strength training improves submaximum cardiovascular performance in older men. *J Geriatr Phys Ther*, 32(3), 117-124.
- Lynch, N. A., Metter, E. J., Lindle, R. S., Fozard, J. L., Tobin, J. D., Roy, T. A., . . . Hurley, B. F. (1999). Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* (1985), 86(1), 188-194.
- Manini, T. M., Everhart, J. E., Anton, S. D., Schoeller, D. A., Cummings, S. R., Mackey, D. C., . . . Harris, T. B. (2009). Activity energy expenditure and change in body composition in late life. *Am J Clin Nutr*, 90(5), 1336-1342.
- Marcos-Becerro, J. F. (2000). Entrenamiento en las personas mayores. In J. F. Marcos-Becerro (Ed.), *Entrenamiento de fuerza para todos*. Madrid: IWF.
- Marín-Pagán, C., Romero-Arenas, S., & Alcaraz, P. E. (2013). *Cardiorespiratory and metabolic responses to an acute bout of high-resistance circuit training vs. traditional strength training in soccer players*. Paper presented at the 18th annual Congress of the European College of Sport Science, Barcelona.
- Marques, E. A., Mota, J., Viana, J. L., Tuna, D., Figueiredo, P., Guimaraes, J. T., & Carvalho, J. (2013). Response of bone mineral density, inflammatory cytokines, and biochemical bone markers to a 32-week combined loading

- exercise programme in older men and women. *Arch Gerontol Geriatr*, 57(2), 226-233.
- Marques, E. A., Wanderley, F., Machado, L., Sousa, F., Viana, J. L., Moreira-Goncalves, D., . . . Carvalho, J. (2011). Effects of resistance and aerobic exercise on physical function, bone mineral density, OPG and RANKL in older women. *Exp Gerontol*, 46(7), 524-532.
- Marshall, D., Johnell, O., & Wedel, H. (1996). Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *BMJ*, 312(7041), 1254-1259.
- McAuley, E. (1992). The role of efficacy cognitions in the prediction of exercise behavior in middle-aged adults. *J Behav Med*, 15(1), 65-88.
- Meng, X., & D'Arcy, C. (2013). The projected effect of increasing physical activity on reducing the prevalence of common mental disorders among Canadian men and women: a national population-based community study. *Prev Med*, 56(1), 59-63.
- Metter, E. J., Conwit, R., Tobin, J., & Fozard, J. L. (1997). Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 52(5), B267-276.
- Metter, E. J., Talbot, L. A., Schrager, M., & Conwit, R. (2002). Skeletal muscle strength as a predictor of all-cause mortality in healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 57(10), B359-365.
- Miller, J. P., Pratley, R. E., Goldberg, A. P., Gordon, P., Rubin, M., Treuth, M. S., . . . Hurley, B. F. (1994). Strength training increases insulin action in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol*, 77(3), 1122-1127.
- Misic, M. M., Rosengren, K. S., Woods, J. A., & Evans, E. M. (2007). Muscle quality, aerobic fitness and fat mass predict lower-extremity physical function in community-dwelling older adults. *Gerontology*, 53(5), 260-266.
- Misic, M. M., Valentine, R. J., Rosengren, K. S., Woods, J. A., & Evans, E. M. (2009). Impact of training modality on strength and physical function in older adults. *Gerontology*, 55(4), 411-416.
- Mitchell, W. K., Williams, J., Atherton, P., Larvin, M., Lund, J., & Narici, M. (2012). Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human

- skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Front Physiol*, 3, 260.
- Mora, S., Redberg, R. F., Cui, Y., Whiteman, M. K., Flaws, J. A., Sharrett, A. R., & Blumenthal, R. S. (2003). Ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: a 20-year follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA*, 290(12), 1600-1607.
- Morgan, R. E., & Adamson, G. T. (1959). *Circuit training* (Vol. Ltd.). London: Bell and Sons.
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1980). Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *J Gerontol*, 35(5), 672-682.
- Murias, J. M., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2010). Time course and mechanisms of adaptations in cardiorespiratory fitness with endurance training in older and young men. *J Appl Physiol*, 108(3), 621-627.
- Murphy, E., & Schwarzkopf, R. (1992). Effects of standard set and circuit weight training on excess post-exercise oxygen consumption. *J Appl Sport Sci Res*, 6(2), 88-91.
- Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S., & Atwood, J. E. (2002). Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*, 346(11), 793-801.
- Narici, M. V., Reeves, N. D., Morse, C. I., & Maganaris, C. N. (2004). Muscular adaptations to resistance exercise in the elderly. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 4(2), 161-164.
- Nelson, M. E., Fiatarone, M. A., Morganti, C. M., Trice, I., Greenberg, R. A., & Evans, W. J. (1994). Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. *JAMA*, 272(24), 1909-1914.
- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., . . . American Heart, A. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*, 116(9), 1094-1105.

- Nguyen, N. D., Pongchaiyakul, C., Center, J. R., Eisman, J. A., & Nguyen, T. V. (2005). Abdominal fat and hip fracture risk in the elderly: the Dubbo Osteoporosis Epidemiology Study. *BMC Musculoskelet Disord*, 6, 11.
- Nilwik, R., Snijders, T., Leenders, M., Groen, B. B., van Kranenburg, J., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. (2013). The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol*, 48(5), 492-498.
- Ohlson, L. O., Larsson, B., Svardsudd, K., Welin, L., Eriksson, H., Wilhelmsen, L., . . . Tibblin, G. (1985). The influence of body fat distribution on the incidence of diabetes mellitus. 13.5 years of follow-up of the participants in the study of men born in 1913. *Diabetes*, 34(10), 1055-1058.
- Okazaki, K., Iwasaki, K., Prasad, A., Palmer, M. D., Martini, E. R., Fu, Q., . . . Levine, B. D. (2005). Dose-response relationship of endurance training for autonomic circulatory control in healthy seniors. *J Appl Physiol*, 99(3), 1041-1049.
- Pajala, S., Era, P., Koskenvuo, M., Kaprio, J., Tormakangas, T., & Rantanen, T. (2008). Force platform balance measures as predictors of indoor and outdoor falls in community-dwelling women aged 63-76 years. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 63(2), 171-178.
- Palevo, G., Keteyian, S. J., Kang, M., & Caputo, J. L. (2009). Resistance exercise training improves heart function and physical fitness in stable patients with heart failure. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 29(5), 294-298.
- Paoli, A., Moro, T., & Bianco, A. (2014). Lift weights to fight overweight. *Clin Physiol Funct Imaging*.
- Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Bianco, A., Palma, A., & Grimaldi, K. (2012). High-Intensity Interval Resistance Training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non-dieting individuals. *J Transl Med*, 10(1), 237.
- Paoli, A., Pacelli, F., Bargossi, A. M., Marcolin, G., Guzzinati, S., Neri, M., . . . Palma, A. (2010). Effects of three distinct protocols of fitness training on body composition, strength and blood lactate. *J Sports Med Phys Fitness*, 50(1), 43-51.

- Partonen, T., Leppamaki, S., Hurme, J., & Lonnqvist, J. (1998). Randomized trial of physical exercise alone or combined with bright light on mood and health-related quality of life. *Psychol Med*, 28(6), 1359-1364.
- Peiris, A. N., Sothmann, M. S., Hoffmann, R. G., Hennes, M. I., Wilson, C. R., Gustafson, A. B., & Kissebah, A. H. (1989). Adiposity, fat distribution, and cardiovascular risk. *Ann Intern Med*, 110(11), 867-872.
- Pereira, A., Izquierdo, M., Silva, A. J., Costa, A. M., Bastos, E., Gonzalez-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2012). Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol*, 47(3), 250-255.
- Pescatello, L. S., Franklin, B. A., Fagard, R., Farquhar, W. B., Kelley, G. A., & Ray, C. A. (2004). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc*, 36(3), 533-553.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., Sen, A., & Gordon, P. M. (2010). Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev*, 9(3), 226-237.
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed up and go - a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 39, 142-148.
- Pollock, M. L., Franklin, B. A., Balady, G. J., Chaitman, B. L., Fleg, J. L., Fletcher, B., . . . Bazzarre, T. (2000). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association; Position paper endorsed by the American College of Sports Medicine. *Circulation*, 101(7), 828-833.
- Radaelli, R., Botton, C. E., Wilhelm, E. N., Bottaro, M., Lacerda, F., Gaya, A., . . . Pinto, R. S. (2013). Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women. *Exp Gerontol*, 48(8), 710-716.
- Rantakokko, M., Manty, M., & Rantanen, T. (2013). Mobility decline in old age. *Exerc Sport Sci Rev*, 41(1), 19-25.
- Rantanen, T., Harris, T., Leveille, S. G., Visser, M., Foley, D., Masaki, K., & Guralnik, J. M. (2000). Muscle strength and body mass index as long-term

- predictors of mortality in initially healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55, 168-173.
- Raymond, M. J., Bramley-Tzerefos, R. E., Jeffs, K. J., Winter, A., & Holland, A. E. (2013). Systematic review of high-intensity progressive resistance strength training of the lower limb compared with other intensities of strength training in older adults. *Arch Phys Med Rehabil*, 94(8), 1458-1472.
- Reeves, N. D., Narici, M. V., & Maganaris, C. N. (2004). Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *J Appl Physiol*, 96(3), 885-892.
- Rhodes, E. C., Martin, A. D., Taunton, J. E., Donnelly, M., Warren, J., & Elliot, J. (2000). Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med*, 34, 18-22.
- Romero-Arenas, S., Pérez-Gómez, J., & Alcaraz, P. E. (2011). Entrenamiento en circuito. ¿Una herramienta útil para prevenir los efectos del envejecimiento? *Cultura, Ciencia y Deporte*, 6(18), 185-192.
- Ruiz, J. R., Sui, X., Lobelo, F., Morrow, J. R., Jackson, A. W., Sjöström, M., & Blair, S. N. (2008). Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ*, 337, 92-95.
- Sai, A. J., Gallagher, J. C., Smith, L. M., & Logsdon, S. (2010). Fall predictors in the community dwelling elderly: a cross sectional and prospective cohort study. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 10(2), 142-150.
- Scher, L. M., Ferrioli, E., Moriguti, J. C., Scher, R., & Lima, N. K. (2011). The effect of different volumes of acute resistance exercise on elderly individuals with treated hypertension. *J Strength Cond Res*, 25(4), 1016-1023.
- Schiller, B. C., Casas, Y. G., Desouza, C. A., & Seals, D. R. (2001). Maximal aerobic capacity across age in healthy Hispanic and Caucasian women. *J Appl Physiol* (1985), 91(3), 1048-1054.
- Schlicht, J., Camaione, D. N., & Owen, S. V. (2001). Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and sit-to-stand performance in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56(5), M281-286.

- Seals, D. R., Hagberg, J. M., Hurley, B. F., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1984). Endurance training in older men and women. I. Cardiovascular responses to exercise. *J Appl Physiol*, 57(4), 1024-1029.
- Seals, D. R., Monahan, K. D., Bell, C., Tanaka, H., & Jones, P. P. (2001). The aging cardiovascular system: changes in autonomic function at rest and in response to exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 11 Suppl, S189-195.
- Seals, D. R., Taylor, J. A., Ng, A. V., & Esler, M. D. (1994). Exercise and aging: autonomic control of the circulation. *Med Sci Sports Exerc*, 26(5), 568-576.
- Seene, T., Kaasik, P., & Riso, E. M. (2012). Review on aging, unloading and reloading: Changes in skeletal muscle quantity and quality. *Arch Gerontol Geriatr*, 54(2), 374-380.
- Serra-Rexach, J. A., Bustamante-Ara, N., Hierro Villaran, M., Gonzalez Gil, P., Sanz Ibanez, M. J., Blanco Sanz, N., . . . Lucia, A. (2011). Short-term, light-to moderate-intensity exercise training improves leg muscle strength in the oldest old: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc*, 59(4), 594-602.
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther*, 80(9), 896-903.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(1), M10-16.
- Sigal, R. J., Kenny, G. P., Wasserman, D. H., & Castaneda-Sceppa, C. (2004). Physical activity/exercise and type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 27(10), 2518-2539.
- Sillanpaa, E., Hakkinen, A., Nyman, K., Mattila, M., Cheng, S., Karavirta, L., . . . Hakkinen, K. (2008). Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Med Sci Sports Exerc*, 40(5), 950-958.
- Sillanpaa, E., Hakkinen, K., Holviala, J., & Hakkinen, A. (2012). Combined strength and endurance training improves health-related quality of life in healthy middle-aged and older adults. *Int J Sports Med*, 33(12), 981-986.

- Sillanpaa, E., Laaksonen, D. E., Hakkinen, A., Karavirta, L., Jensen, B., Kraemer, W. J., . . . Hakkinen, K. (2009). Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *Eur J Appl Physiol*, 106(2), 285-296.
- Simoes, G. C., Moreira, S. R., Kushnick, M. R., Simoes, H. G., & Campbell, C. S. (2010). Postresistance exercise blood pressure reduction is influenced by exercise intensity in type-2 diabetic and nondiabetic individuals. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1277-1284.
- Spirduso, W., Francis, K., & MacRae, P. (2005). *Physical dimensions of aging* (2nd Edition ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., . . . Hikida, R. S. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol*, 76(3), 1247-1255.
- Steib, S., Schoene, D., & Pfeifer, K. (2010). Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 42(5), 902-914.
- Sturnieks, D. L., St George, R., & Lord, S. R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin*, 38(6), 467-478.
- Sui, X., LaMonte, M. J., Laditka, J. N., Hardin, J. W., Chase, N., Hooker, S. P., & Blair, S. N. (2007). Cardiorespiratory fitness and adiposity as mortality predictors in older adults. *JAMA*, 298(21), 2507-2516.
- Takeshima, N., Rogers, M. E., Islam, M. M., Yamauchi, T., Watanabe, E., & Okada, A. (2004). Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults. *Eur J Appl Physiol*, 93(1-2), 173-182.
- Tanaka, H., Dinunno, F. A., Monahan, K. D., Clevenger, C. M., DeSouza, C. A., & Seals, D. R. (2000). Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, 102(11), 1270-1275.
- Tanaka, H., & Swensen, T. (1998). Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross-training? *Sports Med*, 25(3), 191-200.
- Tesch, P. A. (1992). Training for bodybuilding. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (pp. 370-381): Blackwell Scientific Publications.

- Thompson, W. R., Gordon, N. F., & Pescatello, L. S. (2009). *Guidelines for exercise testing and prescription*. Hagerstown: Lippincott Williams & Wilkins.
- Thornton, M. K., & Potteiger, J. A. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 715-722.
- Tiedemann, A., Sherrington, C., Close, J. C., & Lord, S. R. (2011). Exercise and Sports Science Australia position statement on exercise and falls prevention in older people. *J Sci Med Sport*, 14(6), 489-495.
- Timiras, P. S. (1997a). *Bases fisiológicas del envejecimiento y la geriatría* (2ª ed.). Barcelona: Masson.
- Timiras, P. S. (1997b). Envejecimiento de los huesos, articulaciones y músculos. In Masson (Ed.), *Bases fisiológicas del envejecimiento y geriatría* (pp. 313-330). Barcelona: Masson.
- United-Nations. (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision United Nations*. New York: United Nations.
- Vandervoort, A. A. (2002). Aging of the human neuromuscular system. *Muscle Nerve*, 25(1), 17-25.
- Vilagut, G., Ferrer, M., Rajmil, L., Rebollo, P., Permanyer-Miranda, G., Quintana, J. M., . . . Alonso, J. (2005). El cuestionario de salud SF-36 español: una década de experiencia y nuevos desarrollos. *Gac Sanit*, 19(2), 135-150.
- Vincent, K. R., & Braith, R. W. (2002). Resistance exercise and bone turnover in elderly men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 17-23.
- Vincent, K. R., Braith, R. W., Feldman, R. A., Kallas, H. E., & Lowenthal, D. T. (2002). Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Arch Intern Med*, 162(6), 673-678.
- Volaklis, K. A., Douda, H. T., Kokkinos, P. F., & Tokmakidis, S. P. (2006). Physiological alterations to detraining following prolonged combined strength and aerobic training in cardiac patients. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 13(3), 375-380.

- Waller, M., Miller, J., & Hannon, J. (2011). Resistance circuit training: Its application for the adult population. *Strength and Conditioning Journal*, 33(1), 16-22.
- Wang, Z. M., Pierson, R. N., Jr., & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr*, 56(1), 19-28.
- Waters, R. L., Hislop, H. J., Perry, J., Thomas, L., & Campbell, J. (1983). Comparative cost of walking in young and old adults. *J Orthop Res*, 1(1), 73-76.
- Weir, J. B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*, 109(1-2), 1-9.
- Welle, S., Totterman, S., & Thornton, C. (1996). Effect of age on muscle hypertrophy induced by resistance training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 51(6), M270-275.
- Whipple, R. H., Wolfson, L. I., & Amerman, P. M. (1987). The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study. *J Am Geriatr Soc*, 35(1), 13-20.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* Barcelona: Paidotribo.
- Wilmore, J. H., Parr, R. B., Girandola, R. N., Ward, P., Vodak, P. A., Barstow, T. J., . . . Leslie, P. (1978). Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med Sci Sports*, 10(2), 79-84.
- Willardson, J. M. (2006). A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J Strength Cond Res*, 20(4), 978-984.
- William, A. D., Carey, M. F., Selig, S., Hayes, A., Krum, H., Patterson, J., . . . Hare, D. L. (2007). Circuit resistance training in chronic heart failure improves skeletal muscle mitochondrial ATP production rate--a randomized controlled trial. *J Card Fail*, 13(2), 79-85.
- Williams, M. A., Haskell, W. L., Ades, P. A., Amsterdam, E. A., Bittner, V., Franklin, B. A., . . . American Heart Association Council on Nutrition, P. A., and Metabolism. (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from

- the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation*, 116(5), 572-584.
- World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. (2001). *Bull World Health Organ*, 79(4), 373-374.
- Wray, D. W., Uberoi, A., Lawrenson, L., & Richardson, R. S. (2006). Evidence of preserved endothelial function and vascular plasticity with age. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 290(3), H1271-1277.
- Yates, L. B., Djousse, L., Kurth, T., Buring, J. E., & Gaziano, J. M. (2008). Exceptional longevity in men: modifiable factors associated with survival and function to age 90 years. *Arch Intern Med*, 168(3), 284-290.
- Zhang, K., Sun, M., Werner, P., Kovera, A. J., Albu, J., Pi-Sunyer, F. X., & Boozer, C. N. (2002). Sleeping metabolic rate in relation to body mass index and body composition. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 26(3), 376-383.

X. ANEXOS

ANEXO I



UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN ANTONIO
Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

CONSENTIMIENTO INFORMADO

D./Dña., con D.N.I., siendo mayor de edad, consiento participar voluntariamente en el Proyecto de Investigación: **Efecto de un entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal, la fuerza, la capacidad cardiovascular y estado de salud en la tercera edad**; y someterme a la recogida de datos y analíticas necesarias para la realización de dicho proyecto.

DECLARO

Haber sido informado/a detalladamente, de forma oral y escrita (anexo I), sobre la actividad a realizar. Del mismo modo, se me han explicado las consecuencias y riesgos que puedo sufrir como sujeto participante. Soy plenamente consciente de que este estudio no es un reconocimiento médico orientado a la detección de patología lesional, enfermedades o padecimientos que no estén directamente implicados con la capacidad para realizar el esfuerzo físico requerido.

Al firmar este documento RECONOZCO que:

He comprendido la información.

Se me han dado amplias oportunidades de formular preguntas y que todas las preguntas que he formulado han sido respondidas o explicadas de forma satisfactoria.

Estoy de acuerdo en participar en esta actividad, siendo consciente que puedo abandonar en cualquier momento, si así lo deseo, sin que esa decisión tenga consecuencias negativas sobre mi persona.

Estoy de acuerdo en que los datos generados por esta investigación puedan ser publicados, siempre y cuando, mi identidad no aparezca en dichas publicaciones.

En cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, le comunicamos que la información que ha facilitado y la obtenida como consecuencia de las exploraciones complementarias a las que se va a someter, pasará a formar parte del fichero automatizado, cuyo titular es la FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN ANTONIO, con la finalidad de INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA EN LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO DE SALUD Y DEPORTE. Tiene derecho a acceder a esta información y cancelarla o rectificarla, dirigiéndose al domicilio de la entidad, en Avda. de los Jerónimos - Guadalupe - 30107 (Murcia). Esta entidad le garantiza la adopción de las medidas oportunas para asegurar el tratamiento confidencial de dichos datos.

En....., a..... dede 2010

Participante

Investigador principal

Fdo.

Fdo. Pedro E. Alcaraz Ramón



ANEXO I

TÍTULO DEL PROYECTO: "Efecto de un entrenamiento en circuito a alta intensidad sobre la composición corporal, la fuerza, la capacidad cardiovascular y estado de salud en la tercera edad".

Para llevar a cabo dicho proyecto será necesaria la realización de un entrenamiento de fuerza a alta intensidad en el gimnasio, durante 12 semanas. Además, será sometido a una batería de test antes y después de dicho entrenamiento. A continuación, se explica en que consisten y los posibles riesgos de cada uno de ellos.

Densitometría Ósea

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

¿Qué riesgos tiene?

Existe una leve exposición a radiación, la dosis de esta radiación efectiva de este procedimiento es de alrededor 0,01 mSv, que es aproximadamente equivalente a la que recibe una persona promedio de radiación de fondo en un día.

No se esperan complicaciones en el proceso de DXA.

Test de equilibrio

Nos permite determinar si es capaz de mantener la posición deseada. Este proceso se llevará a cabo sobre una plataforma de fuerzas y no durará un tiempo superior a 2 minutos.

No presenta riesgos algunos para el participante.

Test de dinamometría isocinética

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

No presenta riesgos algunos para el participante.

Extracción sanguínea

Se procederá a una extracción sanguínea en ayunas, con la intención de obtener valores glucémicos, valores daño muscular y valores de colesterolhemia.

No presenta riesgos algunos para el participante.

Test SF-36

Es un cuestionario que ofrece una perspectiva general del estado de salud valorando numéricamente diferentes aspectos de la salud de la persona. Contiene 36 preguntas que abordan diferentes aspectos relacionados con la vida cotidiana de la persona que rellena el cuestionario. Estas preguntas se agrupan y miden en 8 apartados que se valoran independientemente y dan lugar a 8 dimensiones que mide el cuestionario.

Tiempo aproximado: 10 minutos.

ANEXO II

NOMBRE..... **EDAD**..... **PESO**..... **TALLA**.....
ESTUDIO HRC vs. TS
CÓDIGOS DE MEDIDAS:
C:cucharada sopera (grande) = 10 cc **Plato pequeño:** Pp = 50 gr **Tazón:** T = 250 gr **Panecillo:** P = 60 gr
Cu:cucharadita (pequeña) = 5 cc **Plato llano:** Pl = 90 gr **Vaso:** V = 200 gr **Rebanada:** R = 20 gr
 Plato hondo: Ph = 100 gr

FECHA:	DÍA DE LA SEMANA:	Alimento o bebida, preparación (utilizar una línea para cada alimento)	Cantidad en medidas caseras
Comida	DESAYUNO		
Comida	MEDIA MAÑANA		
Comida	COMIDA		
Comida	MERIENDA		
Comida	CENA		
Comida	ANTES DE ACOSTARSE		
Comida	OTROS		