

EFFECTOS DE UN PROGRAMA DE EJERCICIO FÍSICO DE SOBRECARGA DE ALTA INTENSIDAD Y BAJO VOLUMEN SOBRE PARÁMETROS DE SALUD METABÓLICA EN MUJERES ADULTAS SEDENTARIAS

¹Zapata-Lamana, R., ^{2,3}Cigarroa, I., ³Soto-Espíndola, C. ⁴Saavedra, C.,
(rafaelzapata@udec.cl)

¹Escuela de Educación, Universidad de Concepción, Chile; ²Institut de Neurociències, Departament de Psiquiatria i Medicina Legal, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España; ³Carrera de Kinesiología, Facultad de Salud, Universidad Santo Tomas, Los Ángeles, Chile; ⁴Sociedad Chilena de Ciencias del Ejercicio, Santiago, Chile.

Recibido: Marzo, 2014; Aceptado: Junio, 2014.

RESUMEN

Objetivo: Determinar los efectos metabólicos y físicos de un programa de ejercicios de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen de 12 semanas en mujeres adultas sedentarias trabajadoras. **Método:** Se usó un diseño de estudio experimental de corte longitudinal. Cuarenta mujeres de entre 30 y 60 años de edad fueron asignadas aleatoriamente a un grupo experimento (GE; n=20; sometido a un programa de ejercicios de sobrecarga de alta intensidad de tres meses de duración) o a un grupo control (GC; n=20; no realizó ejercicio físico). Se escogieron cuatro grupos musculares a ejercitar con cargas que fueron dadas hasta llegar a la fatiga. Se efectuaron mediciones de perfil bioquímico, composición corporal y condición física previo y al término del experimento. **Resultados:** en comparación a GC, el GE disminuyó los contenidos plasmáticos de glucosa basal, colesterol total, triglicéridos, LDL, VLDL. En relación la capacidad funcional del tejido muscular, variable relacionada a la condición física, el GE mejoró significativamente la capacidad funcional de los cuatro grupos musculares evaluados, además de una mejora muscular total en comparación al GC. **Conclusiones:** el entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen es capaz de disminuir los niveles plasmáticos de glucosa, colesterol total, triglicéridos, LDL y VLDL, e incrementa la capacidad de trabajo del tejido muscular. Este hallazgo demuestra que sesiones de entrenamiento realizadas dos veces por semana durante 30 min son un método efectivo en la modificación de factores de riesgo cardiovascular, en mujeres adultas sedentarias. **PALABRAS CLAVES:** ejercicio de sobrecarga; sedentarismo; parámetros de salud metabólica.

ABSTRACT

Objective: to determine the metabolic and physical effects of an exercise program of high intensity muscle overload and low volume of twelve weeks. **Methods:** 40 sedentary workers women between 30 and 60 years old were randomly allocated to an experimental group (GE; n=20; subjected to a 3 months overload exercise program) or to a control group (GC; n=20; did not perform exercise). We chose four muscle groups to exercise, with 3 sets per muscle groups and 1 min of work per set until volitional fatigue. Measurements were made of biochemical profile, body composition and physical condition. **Results:** The experimental group decreased the content basal plasma glucose, total cholesterol, triglycerides, LDL,

VLDL, compared with control group. Comparing the functional ability of the muscle tissue, the group that carried out ostensibly exercise improved the functional capacity of the four muscle groups evaluated in addition to improving overall muscle in comparison to the group that did not exercise. **Conclusion:** the overload training of high intensity and low volumes is able to decrease the glucose plasma levels, total cholesterol, triglycerides, LDL, VLDL and increases the work ability of the muscle tissue. This research may lead us to think that training sessions held two times per week for thirty minutes are an effective method in the modification of cardiovascular risk factors in sedentary adult women. **KEY WORDS:** resistance exercise; sedentary lifestyle; parameters of metabolic health.

INTRODUCCIÓN

El sedentarismo es definido como la ausencia de práctica regular de ejercicio físico que disminuye progresivamente la condición física; es reconocido como un factor de riesgo en enfermedades crónicas modernas metabólicas y cardiovasculares. En Chile, esto se ha transformado en una condición preocupante; si bien la expectativa de vida de población ha aumentado en la última década alcanzando un valor promedio de 78,3 años, se ha observado que paralelamente se ha incrementado la presencia de sobrepeso, obesidad y diabetes mellitus tipo II en la población (OECD, 2011), con el consecuente riesgo asociado.

Esta condición de población inactiva, envejecida y con una condición física disminuida, requiere de un sistema de salud capaz de prevenir, controlar y tratar este tipo de enfermedades, de modo de disminuir el incremento sostenido en la prevalencia de estas, que se ha manifestado en el último tiempo (MINSAL, 2010), sin embargo, también se hace necesario el desarrollo e implementación de políticas y prácticas complementarias que contribuyan al mismo objetivo, sin embargo, a la fecha han sido insuficientes.

Ahora bien, pese a que existen antecedentes que le permiten a la población en general establecer una relación entre la práctica regular de ejercicio físico y la reducción de enfermedades crónicas modernas, los niveles de adherencia de la población a esta práctica son muy reducidos (Ahmed, Blaha, Nasir, Rivera, Blumenthal, 2012), siendo los grupos que presentan menores niveles de práctica mujeres y adultos en edad avanzada (Dumith, Hallal, Reis, Kohl, 2011).

Evidencia de lo anterior, son los resultados de la Encuesta Nacional de Hábitos de Actividad Física y Deporte en la población Chilena, realizada por el Instituto Nacional de Deportes (IND), la que determinó que la principal causa de baja adherencia a la actividad física es la falta de tiempo (IND, 2012), por lo tanto es preciso considerar esta, como una variable limitante a tener en cuenta, si lo que se desea es aumentar la práctica regular de ejercicio con la esperanza de mejorar la condición física en la población nacional. En este sentido, la propuesta desarrollada viene a ser una opción alternativa a las actuales recomendaciones tradicionales de actividad física (ACSM, 2006; Haskell, 2007; Pollock, 1998; USDHH, 2008).

El Sedentarismo tiene como consecuencia una reducción funcional del tejido muscular esquelético, la que consiste en comprometer la utilización de glucosa y grasas plasmáticas, determinando el aumento de la grasa intramuscular, en el hígado, en el páncreas, que son la base de las enfermedades modernas antes mencionadas (Thijssen, Calbe, Green, 2012).

Debido a ello es que se proponen diversas recomendaciones de ejercicio físico, las actuales, se basan en ejercicio continuo de moderada intensidad y de larga duración (150 minutos semanales), que no han sido eficaces por que no consideran la variable de tiempo que es reconocida por la población, asimismo, la intensidad baja o moderada no logra gatillar los cambios celulares y moleculares necesarios y finalmente porque la capacidad física deficiente de la mayoría de la población no permite cumplir con la recomendación. Así, se sugieren otras estrategias de intervención que promueven ejercicios de mayor intensidad y menor volumen (Garber, Blissmer, Deschenes, Franklin, Lamonte & Lee, 2011; O'Donovan, Blazeovich, Boreham, Cooper, Crank & Ekelund, 2010), con la expectativa de mejorar las limitantes antes mencionadas.

En esta línea, en Chile existen emergentes trabajos; recientemente, Álvarez et al., (2012) en mujeres sedentarias, pre-diabéticas con sobrepeso y obesidad, aplicó 2 programas de ejercicio de alta intensidad; uno basado en caminata rápida o carrera y el otro de sobrecarga, logró producir cambios significativos en la reducción de la glicemia basal e insulina, siendo mayor el efecto en los sujetos que participaron del programa de entrenamiento de sobrecarga (reducción porcentual de HOMA 16.7% v/s 38.3% para caminata rápida o carrera v/s el de sobrecarga).

El presente estudio evaluó los efectos de la implementación de un programa de ejercicio físico de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen, que pretende solucionar las alteraciones funcionales del musculo esquelético que son esenciales para la salud metabólica y la capacidad física, considerando además la limitante de tiempo usada como una excusa para romper con la inactividad física.

MÉTODOS

El estudio fue de tipo cuantitativo experimental con muestreo aleatorio simple y de temporalidad longitudinal (ver diseño general en figura 1). Se formaron dos grupos de mujeres sedentarias trabajadoras: grupo experimental (GE; edad $44,3 \pm 2,1$ años; estatura 157 ± 1 cm; peso $73,9 \pm 2,4$ kg) que realizó el programa de ejercicio físico de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen, y por otro lado un grupo control (GC; edad $45,9 \pm 2,7$ años; estatura 155 ± 1 cm; peso $69,2 \pm 2,2$ kg). Ambos grupos continuaron realizando todas sus actividades físicas de la vida diaria.

Ambos grupos fueron evaluados al inicio del experimento, antes de que el GE comenzara a ejecutar el programa de ejercicios. La evaluación completa estaba compuesta de: perfil bioquímico, composición corporal y condición física (se detallará cada una de las variables estudiadas en el apartado de variables y luego se detalla los instrumentos y el cómo se realizó la evaluación en el apartado de técnicas de medición).

Luego, el grupo experimental fue sometido al programa de ejercicios de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen, que estaba distribuido en 24 sesiones, realizado 2 veces por semana (lunes-jueves o martes y viernes) durante un periodo de 3 meses. Todas las sesiones de ejercicio duraron entre 30 y 35 minutos y se realizaron entre las 11:00 y la 13:00 h o entre las 17:00 y 19:00 h en una sala con condiciones estándar de humedad ($50\% \pm 10$) y temperatura ($21^{\circ}C \pm 2$).

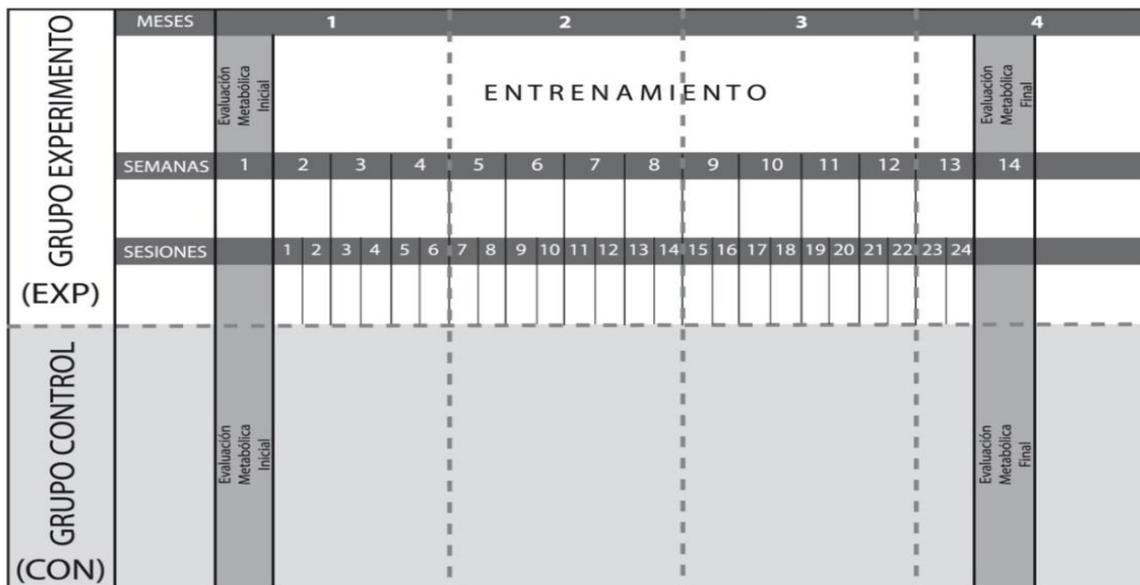


Figura 1. Diseño general del estudio

El programa de ejercicios está basado en un método de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen sobre cuatro grupos musculares: 1) flexores de brazo (FB), 2) flexores de tronco (FT), 3) extensores de brazo (EB) y 4) extensores de pierna (EP). En cada ejercicio los sujetos realizaron el máximo número de repeticiones durante 1 minuto hasta alcanzar el *fallo muscular*, 3 series, con pausas de recuperación de 2 min entre series. Esto se llamó *bloque de ejercicio* (ver figura 2).

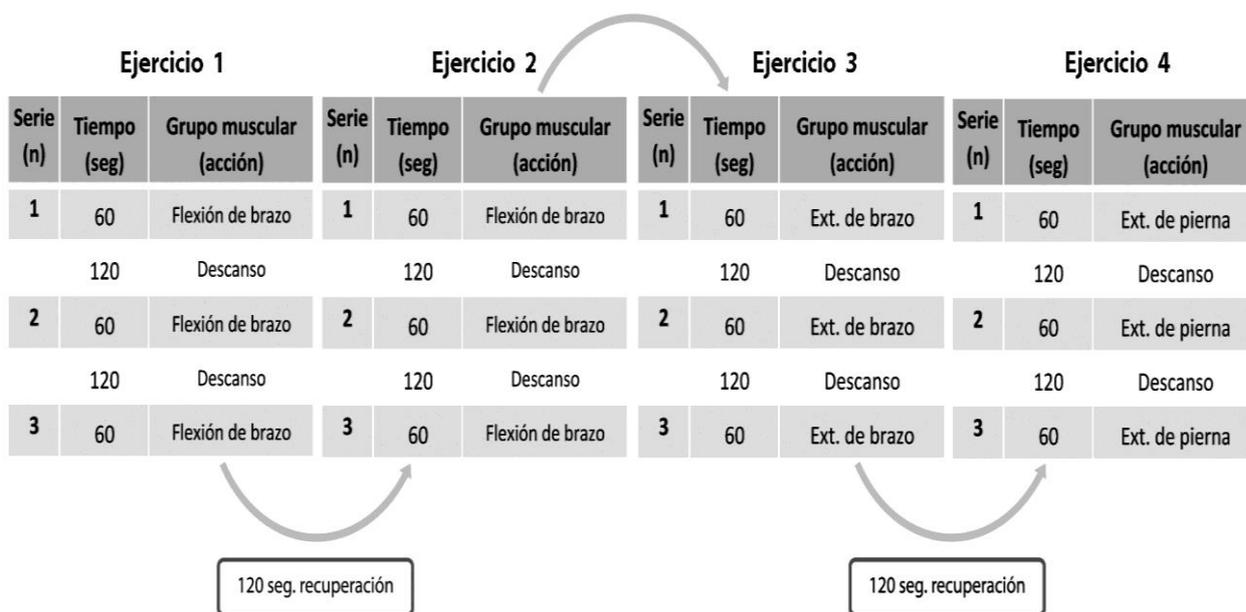


Figura 2: Descripción de una sesión de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad.

Después de 3 días de acabado el programa de ejercicio, se realizó una evaluación metabólica final utilizando las mismas variables ya mencionadas (ver figura 3) y en el mismo orden que la evaluación inicial. Para determinar edad, antecedentes de tratamiento farmacológico, historia de enfermedades señaladas en los criterios de inclusión y exclusión se completaron fichas de registro para cada participante.

Variable Independiente	Variable Dependiente	Subvariables	Desglose Variable	Unidad de Medida	Método e Instrumento
Programa de ejercicio físico de sobrecarga de alta intensidad	Parámetros de salud metabólica	Tolerancia a la Glucosa	Glucosa Basal	mg/dL	Glucosa Hexoquinasa
			Glucosa 120 min.		
		Perfil Lipídico	Colesterol Total	mg/dL	Tecnología Roche
			Triglicéridos		
			Colesterol HDL		
			Colesterol LDL		
		Composición Corporal	IMC	Kg/m ²	Analizador de Composición Corporal Tanita SC-3315
			Masa Libre de Grasas	Kg	
			Grasa Corporal	%	
		Condición Física	Capacidad Funcional del Tejido Muscular	Kg	Multiestación Life Fitness Fit 4

Figura 3. Esquema explicativo de las variables

Muestra

Luego de pasar los criterios de inclusión, la muestra quedó conformada por 40 mujeres, las cuales, a través de un muestreo probabilístico aleatorio simple fueron distribuidas en dos grupos homogéneos de acuerdo al peso y el IMC: experimental (GE) n: 20, y control (GC) n: 20. Al terminar el plan de ejercicio, 2 mujeres del grupo experimental y 5 del grupo control tuvieron que ser eliminadas del análisis de datos del estudio por no asistir a un mínimo del 80% de las sesiones de entrenamiento y por no realizarse los exámenes correspondientes, por lo que la muestra quedo finalmente establecida en 33 mujeres.

Técnicas e instrumentos de medición

Al inicio del experimento se realizó una evaluación metabólica inicial consistente en: perfil bioquímico, composición corporal y condición física, estas 3 evaluaciones duraron 3 días, se realizaron siempre en este mismo orden y 4 días previos al inicio del programa de ejercicios.

a) *Perfil bioquímico*: consistente en test de tolerancia a la glucosa (glucosa basal, glucosa en 120 minutos) y perfil lipídico (triglicéridos, colesterol total, HDL, LDL, VLDL y relación Col. total/HDL), los resultados fueron anotados en una planilla de registro. En el test de tolerancia a la glucosa los sujetos debieron estar en ayunas 12 horas, permanecer en reposo y sin fumar durante el procedimiento. Se determinó la glicemia en ayunas y 120 minutos después de haber ingerido 75 gramos de glucosa en 250 mililitros de agua, mediante la extracción de 4 ml de sangre venosa. Analizada mediante método de glucosa hexoquinasa. Para determinar el perfil lipídico se extrajeron muestras de sangre venosa tras 12 horas de ayuno. Los resultados fueron obtenidos mediante la extracción de 4 ml de sangre venosa con método tecnología Roche. Todos estos análisis se realizaron en dependencias del Laboratorio Clínico Central de la ciudad de Los Ángeles, certificado con Norma de Calidad ISO 15189.

b) *Composición corporal*: se calculó evaluando el Índice de Masa Corporal (IMC), Porcentaje de Grasa y Masa Libre de Grasa. En primer lugar fueron evaluados estatura y peso mediante un analizador de composición corporal marca Tanita modelo WB-3000, con sensibilidad de 0,1 cm y 0,1 kg respectivamente. El cálculo del IMC se realizó mediante la fórmula de peso/estatura². La medición del porcentaje de grasa y masa libre de grasa fue efectuada con

los sujetos descalzos en posición de bipedestación con los brazos relajados junto al tronco realizando una medición pie-pie mediante 4 electrodos (metatarso-calcáneo), a través de bioimpedanciometría, en equipo marca Tanita modelo SC-331 con una sensibilidad de 0,1% para porcentaje de grasa y 0,1 kg para masa libre de grasa. Los resultados se anotaron en una planilla de registro, siguiendo un protocolo de evaluación.

c) *Estimación de la condición física*: se midió la capacidad funcional del tejido muscular a través de la evaluación de cuatro grupos musculares flexores de brazo, extensores de brazo, flexores de tronco y extensores de pierna en una máquina Multiestación marca Life Fitness modelo Fit3. Con una resistencia específica para cada sujeto. En cada grupo muscular se realizaron 3 repeticiones de 1 minuto cada una, con una pausa de dos minutos. Se asignó como capacidad funcional del tejido muscular a la suma de los kilos totales acumulados en los cuatro grupos musculares. Los resultados obtenidos se registraron en una planilla.

Análisis de datos

Todos los resultados fueron expresados como media \pm error estándar de la media. Los datos se analizaron utilizando el programa SPSS (v.19.0, SPSS Inc., USA), siendo el factor inter-sujeto el tipo de actividad física (GE y GC) y el factor intra-sujetos se indican en cada prueba. La normalidad de los datos se evaluó mediante el test de Shapiro-Wilk. Posteriormente, para determinar si los grupos son iguales estadísticamente, se aplicó pruebas T de muestras independientes en los grupos que presentaron normalidad. Para variables que no presentaron normalidad, se utilizó test no paramétrico U de Mann – Withney. Las diferencias entre el pre y la post evaluación, fueron estimadas mediante pruebas T para muestras relacionadas, considerando diferencias significativas en $p < 0.05$.

RESULTADOS

No se observaron diferencias significativas entre GE y GC al inicio del experimento (Tabla 1).

Tabla 1. Variables dependientes pre intervención para			
	GE (n = 18)	GC (n = 15)	Valor p GE vs. GC
Porcentaje de grasa corporal (%)	39,16 \pm 1,145*	37,53 \pm 0,887*	0.284
Masa libre de grasa	44,53 \pm 0,743*	43,32 \pm 0,822*	0.281
Índice de masa corporal (kg/m²)	29,94 \pm 0,891*	28,92 \pm 1,025*	0.454
Colesterol total (mg/dl)	202,56 \pm 8,025*	195,87 \pm 9,846*	0.598
Triglicéridos (mg/dl)	119,94 \pm 9,954*	135,93 \pm 11,030*	0.290
Colesterol LDL (mg/dl)	122,01 \pm 7,770*	110,07 \pm 9,126*	0.324
Colesterol HDL (mg/dl)	59,50 \pm 4,317*	59,33 \pm 3,868*	0.978
Colesterol VLDL (mg/dl)	25,56 \pm 2,093*	28,00 \pm 2,156*	0.426
Glucosa basal (mg/dl)	92,8 \pm 2,0**	92,3 \pm 4,2**	0.226
Glucosa 120 minutos (mg/dl)	101,7 \pm 5,4**	109,7 \pm 11,0**	0.758
Flexión de brazo inicial (kg)	1597 \pm 153**	1557 \pm 170*	0.862
Flexión de tronco inicial (kg)	1714 \pm 276**	1261 \pm 169**	0.192
Extensión de brazo inicial (kg)	994 \pm 128*	747 \pm 184*	0.265

Extensión de pierna inicial (kg)	1570±245*	1319±214*	0.457
Trabajo total (kg)	5863±756*	4900±694*	0.364
*: variable paramétrica; **: variable no paramétrica			

Los cambios en variables dependientes para el GE y el GC se muestran en la tabla 2, junto con la comparación entre GE vs. GC en el periodo post intervención.

Tabla 2. Variables post intervención					
	GE (n = 18)	Valor-p* Pre vs. Post GE	GC (n = 15)	Valor-p* Pre vs Post GC	Valor-p** GE vs GC
Porcentaje de grasa corporal (%)	39,1 ± 1,2	0.958	38,1 ± 0,9	0.079	0.517
Masa libre de grasa	44,8 ± 0,8	0.535	43,7 ± 0,9	0.606	0.368
Índice de masa corporal (kg/m²)	29,80 ± 0,937	0.314	29,4 3 ± 1,094*	0.005*	0.800
Colesterol total (mg/dl)	186 ± 6,4	0.005*	208 ± 8,8*	0.001*	0.050**
Triglicéridos (mg/dl)	103 ± 9,2	0.006*	140 ± 11,2	0.430	0,015 **
Colesterol LDL (mg/dl)	106 ± 6,1	0.001*	116 ± 9,9	0.034*	0.406
Colesterol HDL (mg/dl)	64,17 ± 3.976	0.172	52,1 ± 3,3	0.013*	0,030**
Colesterol VLDL (mg/dl)	20,67 ± 1,753	0.001*	28,8 ± 2,7	0.609	0,014**
Glucosa basal (mg/dl)	87,62 ± 1,656	0.023*	97,8 ± 4,2	0.006*	0.023**
Glucosa 120 minutos (mg/dl)	98,77 ± 4,239	0.571	110 ± 9,9	0.903	0.276
Flexión de brazo final (kg)	2895 ± 154	0.000*	1489 ± 156	0.707	0.000 **
Flexión de tronco final (kg)	4022 ± 188	0.000*	1489 ± 123	0.027*	0.000 **
Extensión de brazo final (kg)	24122 ± 141	0.000*	1014 ± 172	0.006*	0.000 **
Extensión de pierna final (kg)	3269 ± 219	0.000*	1010 ± 232	0.034*	0.000 **
Trabajo total final (kg)	12598 ± 569	0.000*	5004 ± 554	0.669	0.000**
Para determinar diferencias entre el pre y la post evaluación se realizó la prueba pruebas T para muestras relacionadas (*Pre vs Post). Para comparar diferencias estadísticas entre GE vs. GC de distribución normal fue realizada la prueba T de muestras independientes, y para las variables que no presentaron normalidad se utilizó test no paramétrico U de Mann – Withney (**GE vs GC) (p<0.05).					

DISCUSIÓN

Composición corporal

Para el grupo experimental las variables peso corporal, IMC y porcentaje de grasa no sufrieron modificaciones significativas al comparar el pre y el post-entrenamiento. Nuestros resultados son coincidentes con los publicados de Álvarez (2012) en que la respuesta de la composición corporal a un entrenamiento de similares características no presentó modificaciones. Por otro lado, el grupo control evidencio un incremento significativo en el peso corporal (P=0.006) y por consiguiente en su IMC (p=0.005), estos resultados no concuerdan con el estudio anterior, y asumiendo que la variable alimentación no se midió, podríamos inferir un posible rol de control de peso por parte del grupo que realizaba el plan de ejercicios. Complementario a este argumento, se puede inferir que este aumento se puede explicar en parte por el conocido exceso en la ingesta de carbohidratos, grasa y sodio en las preparaciones de alimentos característico de las fiestas de fin de año, fecha coincidente con la realización de nuestro estudio. Coincidente con Balducci (2010), podemos afirmar que las

mejoras en los parámetros de perfil bioquímico no requieren de modificaciones en los parámetros antropométricos.

Perfil lipídico

En relación a los efectos de la intervención sobre el perfil lipídico, el grupo experimental mejora todos valores presentados en esta variable al comparar el pre y el post-entrenamiento. Con cambios significativos en colesterol total (-8%), TG (-14%), LDL (-12,9%) y VLDL (-19,1%) y las importantes mejoras en HDL (7,8%), coinciden con las mejoras en los estudios de Haskell (1986), Boreham (2005), Balducci (2010), Álvarez (2012; 2013). Por otra parte, el grupo experimental puede disminuir los triglicéridos y VLDL y aumentar los HDL significativamente en comparación al grupo control, esto último podría hacer referencia a un posible efecto cardio-protector contra patologías coronarias y crónicas. Estos resultados concuerdan con los de Babraj (2009) y sugieren que la implementación de un programa de EF de alta intensidad y bajo volumen es efectiva en la reducción de factores de riesgo cardiovascular y en la mantención de los parámetros de normalidad en mujeres sedentarias que no se adhieren a los programas tradicionales de ejercicios aeróbicos. Lo relevante del estudio fue obtener resultados significativos en estos marcadores sin parear los grupos por sujetos con alteraciones o valores fuera de la normalidad, a diferencia de Álvarez (2013), ya que es sabido que valores altos y más lejanos a la normativa fisiológica son más fáciles de disminuir que valores cercanos al rango normal. Por ende, confirmamos lo señalado por la literatura en cuanto a que a mayor alteración en marcadores metabólicos, mayor mejora (Blair, 1992; Gill, 2006).

La no modificación en los parámetros de composición corporal: peso, IMC y porcentaje de grasa pudieran atribuir directamente las mejoras en los parámetros bioquímicos, al programa de ejercicios. Ya que en el grupo control se encontraron aumentos significativos en colesterol total ($p=0.001$) y LDL ($p=0.034$), además de aumento considerable de TG y VLDL (2,8% ambos) y disminución en el nivel de HDL (-12,1%), al igual que en los valores de composición corporal, atribuimos estas modificaciones en el grupo control, no descritas en la literatura, al exceso en la ingesta de carbohidratos, grasa y sodio en los alimentos característico de las fiestas de fin de año. En resumen coincidimos con Toledo (2013) en que sesiones de bajo volumen (~30 minutos) con ejercicio de sobrecarga mejoran el metabolismo de los lípidos. Por lo que un breve entrenamiento intenso, permite la elevación del metabolismo basal y del consumo de grasas en reposo.

Tolerancia glucosa

En lo que respecta a la prueba de tolerancia a la Glucosa el grupo experimental obtuvo resultados significativos en la disminución de la Glucosa basal (5,5%) en relación al grupo control, con un $p=0.023$ y una disminución de 2,8% en el test de glucosa en 120 minutos. Esto concuerda con estudios anteriores realizados en mujeres tanto pre diabéticas como hiperglicémicas, donde las mejoras en los niveles de glicemia se mantenían 72 h posteriores a la finalización de la intervención (Álvarez, 2012; 2013).

Little (2010), señala que las mejoras en los niveles de glicemia pueden ser explicadas por los efectos del EF de alta intensidad sobre la activación de vías de señalización intracelular

mediadas por la proteína kinasa activada por AMP (AMPK), enzima clave en el metabolismo de glucosa y lípidos, cuyo efecto mimetiza el efecto de la insulina induciendo la translocación de los transportadores de glucosa Glut-4 hacia la superficie celular, lo que finalmente aumenta la captación de glucosa desde la sangre hacia el músculo esquelético. Explicado también por la mayor capacidad del tejido muscular de metabolizar la glucosa al aumentar la sensibilidad a la insulina (Holten y cols. 2004). Aumentando según Gibala (2006) la capacidad oxidativa del músculo esquelético, la utilización del glucógeno en reposo, oxidación de lípidos y el aumento de estructuras vasculares periféricas.

Los potenciales mecanismos mediante el cual el ejercicio mejora el control glicémico resultan interesantes al considerar que no hubo cambios en las variables de composición corporal. Los estudios de Towler (2007) reportan que programas de ejercicios con intervalos de bajo volumen, producen un gasto energético relativamente bajo pero sin embargo, reducen el glicógeno muscular entre 30% y 45% mediante la vía metabólica de AMPK que juega un rol primordial en la translocación de GLUT4 y consumo de glucosa a nivel muscular. Esto ratifica los resultados de Krssak (2000) y Gibala (2012) que señalan que, la reducción en el glicógeno muscular inducido por los HIT, es similar a lo inducido por una sesión de 90 min de ejercicio aeróbico de intensidad moderada.

Adicionalmente, Ritov (2010) explica otro mecanismo asociado a la adaptación muscular a los programas de entrenamiento. Reportado que pacientes diabéticos o con riesgo metabólico presentan una reducida capacidad de oxidación mitocondrial, y que intervenciones similares a las propuestas en nuestro estudio, incrementan la capacidad de oxidación mitocondrial tanto en sujetos sanos, como con riesgo metabólico. Esto último según estudios de Burgomaster (2008) y Hood (2011) respectivamente.

Recientemente Paoli (2012) ha demostrado que el entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad aumenta el consumo de energía después del ejercicio en un grado significativamente mayor que el entrenamiento de resistencia tradicional. Esta nueva forma de realizar actividad física se adapta a la sociedad actual, la que se caracteriza por los elevados índices de sedentarismo y por no disponer de tiempo libre para realizar actividad física de acuerdo a las recomendaciones tradicionales, para la obtención de beneficios en su salud.

En el grupo control también se encontró un aumento significativo en los niveles de glucosa basal en (5,9%), con $p=0.006$. Al igual que en los dos ítems anteriores, atribuimos estas modificaciones, al exceso en la ingesta de carbohidratos, grasa y sodio en los alimentos característico de las fiestas de fin de año. El aumento significativo en las variables antropométricas (peso corporal e IMC) pueden haber afectado esta variación significativa.

Condición física

Existieron diferencias significativas al comparar la evaluación final del grupo que realizó el plan de entrenamiento con la evaluación inicial (Las alzas en FB, FT, EB y EP fueron de 81%, 134%, 142% y 108% respectivamente) además, se observaron diferencias del grupo experimental vs el grupo control. Esta ganancia promedio de 114% en relación a la evaluación inicial estaría explicada por el aumento de la Biogénesis mitocondrial inducida por el programa de sobrecarga, tal como lo evidenciaron los estudios de Bartlett, (2012). Así también, el estudio realizado por Wang (2011), donde utilizaron entrenamientos con ejercicios de resistencia mostraron como resultados un aumento de la expresión de genes implicados en la cascada de señalización del metabolismo de la biogénesis mitocondrial, así

como una mayor activación de las proteínas implicadas en la regulación de la síntesis de proteínas. Adicional a esto, era relevante que a nivel fisiológico aumentara la disponibilidad de ATP, lo que mejoraría el estado del músculo que trabaja con la obtención de energía durante el entrenamiento anaeróbico con intervalos altamente intensos. Además, durante la fase de recuperación, el metabolismo aeróbico es importante en la re síntesis de fosfocreatina y la eliminación de ácido láctico, por lo tanto también provoca una mejora en la capacidad del metabolismo aeróbico, como lo evidencia Laursen (2002). Para haber logrado estas mejoras fue necesario un incremento en el glucógeno muscular en reposo y en el contenido total de proteína GLUT4. Un estudio de Poco (2010) demuestra que un modelo práctico de HIT de bajo volumen es un potente estímulo para aumentar la capacidad mitocondrial del músculo esquelético, lo cual lleva consigo mejoras en el rendimiento del ejercicio. Al comparar el entrenamiento de intervalos de alta intensidad, con el entrenamiento de resistencia en 16 hombres sanos y activos, Gibala (2006) demostró una mejora en la capacidad oxidativa del músculo y en el contenido de glucógeno muscular, concluyendo una vez más que los HIT son una metodología eficiente, que pueden generar el mismo rendimiento y beneficio fisiológico como el entrenamiento continuo de resistencia, pero sin el estrés cardiovascular que estos generan. Aspecto de gran importancia a considerar, al trabajar con sujetos con altos índices de riesgo cardiovascular y estilos de vida sedentaria. Little en 2011 evidencio los efectos biológicos como respuestas a este tipo de entrenamiento, entre los que se destacan un aumento en la biogénesis mitocondrial y la capacidad oxidativa de las fibras musculares. Esto último se ha relacionado con la expresión del factor de transcripción PGC-1 α posterior a la intervención con EF de alta intensidad. Ejercicio con el cual se mejora el metabolismo, la masa y la fuerza muscular, por lo que un breve entrenamiento intenso, también conlleva a la elevación del metabolismo basal y del consumo de grasas en reposo (Toledo, 2013). Finalmente compartimos la evidencia aportada por Díaz (2007), en relación a que el ejercicio físico es el mayor y más eficiente estímulo para la biogénesis mitocondrial, sobre todo porque es en el tejido muscular donde se metaboliza más del 75% de los azúcares y las grasas. Adicionalmente, el diseño de nuestro protocolo de ejercicio de menor duración y simple replicación, puede ser usado como estrategia para incrementar la práctica y adherencia a programas de actividad física en mujeres adultas con riesgo metabólico, lo cual es una necesidad considerando la realidad nacional en relación a los altos niveles de sedentarismo (93%), sobrepeso u obesidad (64%) y prevalencia de diabetes (9%) en mujeres con edades de 30 a 60 años (Minsal, 2010).

CONCLUSIONES

El programa de ejercicio físico de sobrecarga de alta intensidad y bajo volumen con el diseño aplicado en este estudio, contribuyó a mejorar de manera significativa los parámetros de salud metabólica en el grupo experimental de mujeres adultas sedentarias trabajadoras en relación al grupo control. En relación al perfil lipídico, el grupo experimental evidenció una disminución de glucosa basal, colesterol total, triglicéridos, col. LDL y col. VLDL (5,5%, 8%, 14,3%, 12,9% y 19,1% respectivamente) y en un incremento considerable de col. HDL (7,8%) en relación a la evaluación inicial. Además, el grupo experimental, fue capaz de disminuir significativamente más los triglicéridos, colesterol VLDL y aumentar el colesterol HDL si se compara con el grupo control, evidenciando un posible efecto cardioprotector. Respecto a la capacidad funcional del tejido muscular, las modificaciones fueron significativas en los cuatro grupos musculares entrenados, además del total acumulado, con mejoras de 81% en FB, 134% en FT, 142% en EB, 108% en EP y 114% en el Total, respectivamente en comparación al grupo control.

La evidencia que hemos presentado podría servir de base teórica para la generación de un efectivo programa de ejercicio físico no tradicional, de bajo costo, alta aplicabilidad, factible y seguro de realizar, que si se implementara podría transformarse en una intervención costo-eficiente para la reducción de riesgo cardiovascular, teniendo en cuenta que la principal limitante para la práctica de actividad física regular en la población, es la falta de tiempo.

LIMITACIONES

No se realizó un análisis en grupos con y sin alteraciones metabólicas, para evidenciar de manera más significativa la mejora de los marcadores metabólicos, sin embargo sabemos que, valores altos y más lejanos a la normal fisiológica son más fáciles de disminuir que valores cercanos al rango normal. No se controló la variable ingesta alimentaria durante la intervención del plan de entrenamiento. La intervención solo se realizó en un grupo de sexo femenino y de un grupo etario muy breve, lo que no nos permite tener una visión más global de los efectos de este plan de entrenamiento en la población. El plan de entrenamiento se realizó por 3 meses, tiempo tal vez insuficiente para ver cambios en las variables de composición corporal

AGRADECIMIENTOS

Financiamiento: el autor Cigarroa, I. recibió una beca de perfeccionamiento conducente a grado académico de la Universidad Santo Tomás de Chile.

Los autores declaramos no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmed, H.M., Blaha, M.J., Nasir, K., Rivera, J.J., Blumenthal, R.S. (2012). Effects of physical activity on cardiovascular disease. *Am J Cardiol.* 109(2):288-95.
2. Álvarez, C., Ramírez, R., Flores, M., Zúñiga, C., Celis-Morales, C.A. (2012). Effect of sprint interval training and resistance exercise on metabolic markers in overweight women. *Rev. Med Chile;* 140: 1289-1296.
3. Álvarez, C., Ramírez, R., Flores, M., Zúñiga, C., Henríquez, C., Campos, C., Carrasco, V., Martínez, C., Celis-Morales, C.A. (2013). Metabolic response to high intensity exercise training in sedentary hyper-glycemic and hypercholesterolemic women. *Rev. Med Chile;* 141: 1293-1299.
4. American College of Sports Medicine (2006). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription.* 7th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
5. Babraj, J.A., Vollaard, N.B.J, Keast, C., Guppy, F.M., Cottrell G and Timmons J.A. (2009). Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocrine Disorders* 2009, 9:3
6. Balducci, S., Zanuso, S., Nicolucci, A., Fernando, F., Cavallo, S., Cardelli, P., Fallucca, S., Alessi, E., Letizia, C., Jiménez, A., Fallucca, F., Pugliese, G. (2010). Anti-inflammatory effect of exercise training in subjects with type 2 diabetes and the

metabolic syndrome is dependent on exercise modalities and independent of weight loss. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 20 (8): 608-17.

7. Bartlett, J., Joo, Ch., Jeong, T., Louhelainen, J., Cochran, A., Gibala, M., Gregson, W., Close, G., Drust, B., Morton, J. (2012). Matched work high-intensity interval and continuous running induce similar increases in PGC-1 α mRNA, AMPK, p38, and p53 phosphorylation in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 112: 1135–1143.
8. Blair, S.N., Kohl, H.W., Gordon, N.F., Paffenbarger, R.S. (1992). How Much Physical Activity is Good for Health? *Annual Review of Public Health*; 13 (1): 99-126.
9. Boreham, C., Kennedy, R., Murphy, M., Tully, M., Wallace, W., Young, I. (2005). Training effects of short bouts of stair climbing on cardiorespiratory fitness, blood lipids, and homocysteine in sedentary young women. *Br J Sports Med*; 39:590–593.
10. Burgomaster, K.A, Howarth, K.R, Phillips, S.M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M.J., McGee, S.L. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol*; 586 (1): 151-60.
11. Díaz, E., Saavedra, C., Meza, J. (2007). *Guía Contemporánea de ejercicio y salud*. Santiago, Chile.
12. Dumith, S.C., Hallal, P.C, Reis, R.S., Kohl, H.W. 3rd. (2011). Worldwide prevalence of physical inactivity and its association with human development index in 76 countries. *Prev Med.* 53(1-2):24-8.
13. Garber, C.E., Blissmer, B., Deschenes, M.R., Franklin, B.A., Lamonte, M.J., Lee, I.M. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*; 43 (7): 1334-59.
14. Gill, J.M.R., Malkova, D. (2006) Physical activity, fitness and cardiovascular disease risk in adults: interactions with insulin resistance and obesity. *Clinical science* (London, England: 1979). 110 (4): 409-25.
15. Haskell, W. L., Lee, I., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., Macera, C. A. et al. (2007). Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the american college of sports medicine and the american heart association. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1423-1434.
16. Gibala, M.J., McGee, S.L., Garnham, A.P., Howlett, K.F., Snow, R.J., Hargreaves, M. (1985). Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1 alpha in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*; 106 (3): 929 – 34.
17. Gibala, M.J., Little, P.J., van Essan, M., Wilkin, G.P., Burgomaster, K.A., Safdar, A., Raha, S. & Tarnopolsky, M.A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional

endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 575, 901–911.

18. Gibala, M.J., Little, J.P., Maureen, J., MacDonald and John A. Hawley. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of Physiology* 590, 1077-1084.
19. Holten, M., M. Zacho, M. Gaster, C. Juel, J. Wojtaszewski, F. Dela. (2004). Strength Training Increases Insulin-Mediated Glucose Uptake, GLUT4 Content, and Insulin Signaling in Skeletal Muscle in Patients With Type 2 Diabetes. *Diabetes*; 53: 294-305.
20. Instituto Nacional del Deporte (IND). (2012). Encuesta nacional de hábitos de actividad física y deportes en la población chilena de 18 años y más. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Concepción.
21. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). ESTADÍSTICAS VITALES, INFORME ANUAL (2011). Santiago, Chile.
22. Little, J.P., Safdar, A., Wilkin, G.P., Tarnopolsky, M.A., Gibala, M.J. (2010). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *The Journal of Physiology* 2010; 588 (6): 1011-22.
23. Ministerio de Salud (2010) Encuesta Nacional de Salud. 2009 – 2010. Santiago, Chile.
24. OECD (2011), Health at a Glance 2011: OECD Indicators, OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/health_glance-2011.
25. 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 *Journal of Translational Medicine*, 10:237.
26. Poco, J.P., Safdar, A., Wilkin, G.P., Tarnopolsky, M.A., Gibala, M.J. (2010). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *J Physiol* Mar 15; 588 (Pt 6): 1011.
27. Pollock, M. L., Gaesser, G. A., Butcher, J. D., Després, J. P., Dishman, R. K., Franklin, B. A., et al. (1998). American college of sports medicine position stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 975 – 991.
28. Ritov, V.B., Menshikova, E.V., Azuma, K., Wood, R., Toledo, F.G.S., Goodpaster, B.H. (2010). Deficiency of electron transport chain in human skeletal muscle mitochondria in type 2 diabetes mellitus and obesity. *Am J Physiol Endocrinol Metab*; 298 (1): E49-58.

29. Toledo, F., Goodpaster, B. (2013). The role of weight loss and exercise in correcting skeletal muscle mitochondrial abnormalities in obesity, diabetes and aging. *Molecular and Cellular Endocrinology* 379(1-2): 30 – 4.
30. Towler, M.C., Hardie, D.G. (2007). AMP-activated protein kinase in metabolic control and insulin signaling. *Circ Res*; 100 (3): 328-41.
31. Wang, L., Sahlin, K., (2012). The effect of continuous and interval exercise on PGC-1 α and PDK4 mRNA in type I and type II fibres of human skeletal muscle. *Acta Physiologica*; 204(4): 525–532.