



## Entrenamiento de fuerza y HIIT sobre la flexibilidad metabólica en adultos con factores de riesgo cardiovascular

*Resistance and high-intensity interval training on metabolic flexibility in adults with cardiovascular risk factors*

### Autores

Carolina Núñez-Vergara<sup>1</sup>  
 Marcela Rojas-Vargas<sup>1</sup>  
 Sebastián Báez Vargas<sup>1</sup>  
 Sergio Martínez-Huenschullán<sup>1</sup>  
 Johnattan Cano-Montoya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad San Sebastián, sede Valdivia (Chile)

Autor de correspondencia:  
 Johnattan Cano-Montoya  
[johnattan.cano@uss.cl](mailto:johnattan.cano@uss.cl)

Recibido: 22-10-25  
 Aceptado: 09-03-26

### Cómo citar en APA

Núñez-Vergara, C., Rojas-Vargas, M., Báez Vargas, S., Martínez-Huenschullán, S., & Cano Montoya, J. (2026). Entrenamiento de fuerza y HIIT sobre la flexibilidad metabólica en adultos con factores de riesgo cardiovascular. *Retos*, 79, 163-175. <https://doi.org/10.47197/retos.v79.117940>

### Resumen

**Introducción:** La inflexibilidad metabólica es un sello distintivo de la enfermedad cardiometabólica caracterizada por deficiencia en la selección de sustrato mitocondrial.

**Objetivo:** Estimar los potenciales efectos de ocho semanas de entrenamiento de fuerza (EF) y entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) sobre la METf y composición corporal de personas con factores de riesgo cardiovascular (FRCV).

**Resultados:** tras la intervención, ambos grupos mostraron cambios en los estimadores de flexibilidad metabólica: el cociente respiratorio disminuyó (EF:  $\Delta = -0.100$  [IC95% -0.179, -0.021]; HIIT:  $\Delta = -0.038$  [IC95% -0.060, -0.017]), la oxidación de grasas aumentó (EF:  $\Delta = 19.0$  g/d [IC95% 1.9, 36.1]; HIIT:  $\Delta = 13.0$  g/d [IC95% 1.6, 24.4]) y el gasto energético derivado de lípidos se incrementó (EF:  $\Delta = 7.57$  kcal/h [IC95% 0.76, 14.39]; HIIT:  $\Delta = 4.83$  kcal/h [IC95% 0.72, 8.95]), con estimaciones que sugieren efectos favorables para EF pero con intervalos de confianza amplios ( $\Delta\Delta = -0.062$  [IC95% -0.141, 0.018],  $g = -0.89$  para RER). Los cambios en composición corporal fueron discretos en ambos grupos.

**Discusión:** estos resultados sugieren que tanto el EF como el HIIT son estrategias que podrían mejorar la flexibilidad metabólica en personas con riesgo cardiovascular, independientemente de cambios sustanciales en la composición corporal.

**Conclusiones:** ambas modalidades representan potenciales herramientas terapéuticas para contrarrestar la inflexibilidad metabólica, aunque se requieren estudios con mayor tamaño muestral para obtener evidencia concluyente sobre posibles diferencias entre ellas.

### Palabras clave

Entrenamiento de fuerza; flexibilidad metabólica; HIIT; oxidación de grasas; riesgo cardiovascular.

### Abstract

**Introduction:** Metabolic inflexibility is a hallmark of cardiometabolic disease characterized by deficiency in mitochondrial substrate selection.

**Objective:** To estimate the potential effects of eight weeks of resistance training (RT) and high-intensity interval training (HIIT) on metabolic flexibility (METf) and body composition in people with cardiovascular risk factors (CVRF).

**Results:** after the intervention, both groups showed changes in metabolic flexibility estimators: respiratory exchange ratio decreased (RT:  $\Delta = -0.100$  [95%CI -0.179, -0.021]; HIIT:  $\Delta = -0.038$  [95%CI -0.060, -0.017]), fat oxidation increased (RT:  $\Delta = 19.0$  g/d [95%CI 1.9, 36.1]; HIIT:  $\Delta = 13.0$  g/d [95%CI 1.6, 24.4]) and energy expenditure derived from lipids increased (RT:  $\Delta = 7.57$  kcal/h [95%CI 0.76, 14.39]; HIIT:  $\Delta = 4.83$  kcal/h [95%CI 0.72, 8.95]), with estimates suggesting favorable effects for RT but with wide confidence intervals ( $\Delta\Delta = -0.062$  [95%CI -0.141, 0.018],  $g = -0.89$  for RER). Changes in body composition were modest in both groups.

**Discussion:** these results suggest that both RT and HIIT are strategies that could improve metabolic flexibility in people with cardiovascular risk, regardless of substantial changes in body composition.

**Conclusions:** both modalities represent potential therapeutic tools to counteract metabolic inflexibility, although studies with larger sample sizes are required to obtain conclusive evidence on possible differences between them.

### Keywords

Cardiovascular risk; fat oxidation; HIIT; metabolic flexibility; resistance training.

## Introducción

Estilos de vida inadecuados tales como la inactividad física, consumo de alimentos densos en energía calórica pero deficientes en nutrientes y exposición constante a estresores psicoemocionales persistentes, juegan un papel importante en el desarrollo de trastornos metabólicos, como el síndrome metabólico, diabetes mellitus tipo 2 y enfermedades cardiovasculares (Garthwaite et al., 2024; Salman et al., 2019). Se ha descrito que estos trastornos cardiometabólicos, limitan la capacidad de adaptabilidad fisiológica del organismo (Goodpaster & Sparks, 2017). Esta capacidad de adaptar eficientemente el metabolismo mediante la detección, tráfico, almacenamiento y utilización del sustrato se conoce como flexibilidad metabólica (METf) (Goodpaster & Sparks, 2017; Shoemaker et al., 2023; Smith et al., 2018). La deficiencia en la selección de sustrato mitocondrial provoca que el organismo no logre ajustar adecuadamente la elección de combustible en respuesta a las diferentes demandas, este fenómeno se denomina "inflexibilidad metabólica", la cual ha sido un sello distintivo de la enfermedad cardiometabólica (Shoemaker et al., 2023).

La inactividad física y el tiempo sedentario se han propuesto como determinantes primarios de la inflexibilidad metabólica (Garthwaite et al., 2024; Rynders et al., 2018; Siripoksup et al., 2024); este comportamiento promueve el desarrollo de resistencia a la insulina, hiperlipidemia, disminución de la oxidación de grasas a favor de un mayor uso de carbohidratos como combustible y almacenamiento de grasa ectópica; anormalidades que definen los principales principios del concepto de inflexibilidad metabólica (Rynders et al., 2018).

Actualmente, la calorimetría indirecta ha emergido como una herramienta fundamental para el estudio de la flexibilidad metabólica, al permitir cuantificar de manera no invasiva la tasa de intercambio respiratorio (RER) y estimar el uso relativo de grasas y carbohidratos como sustratos energéticos en reposo o durante el ejercicio. Esta metodología posibilita la evaluación dinámica de la capacidad del organismo para cambiar la fuente predominante de energía ante distintas condiciones metabólicas, lo que ofrece un indicador más preciso y sensible del grado de adaptación mitocondrial y de la eficiencia metabólica frente al entrenamiento físico (Rattanachaiwong & Singer, 2019; Roudi et al., 2025) En relación a esto, estudios evidencian que la actividad física es un desafío sistémico relevante que modula poderosamente la METf a través del aumento en la oxidación de grasa en el músculo, sin embargo, solo se incorporan programas donde se aplicó ejercicio de tipo aeróbico, excluyendo programas de entrenamiento de fuerza sobre la METf (Allerton et al., 2019; Amaro-Gahete et al., 2019; Rynders et al., 2018; Shoemaker et al., 2023; Smith et al., 2018). Por lo anterior, el objetivo de este estudio es estimar los potenciales efectos de ocho semanas de entrenamiento de fuerza (EF) y entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) sobre la METf y composición corporal de personas con factores de riesgo cardiovascular (FRCV).

Hipotetizamos que este estudio piloto permitirá estimar los potenciales efectos del entrenamiento de fuerza y del HIIT sobre la flexibilidad metabólica en adultos con riesgo cardiovascular, anticipando tendencias de mejora en ambas modalidades sin diferencias sustanciales entre ellas.

## Método

Se desarrolló un ensayo clínico aleatorizado piloto. Esta investigación se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki, se adhirió a las directrices del CONSORT y recibió la aprobación del Comité Científico Ético de la Resolución N° 2314327099 del Servicio de Salud de Valdivia (Ord. N 166, 2023). Este estudio formó parte de un ensayo registrado en ClinicalTrials.gov ID: NCT06201273. Fecha: 22/12/2023. El protocolo de reclutamiento de participantes, evaluación e intervención se encuentra previamente publicado (Cano-Montoya et al., 2025).

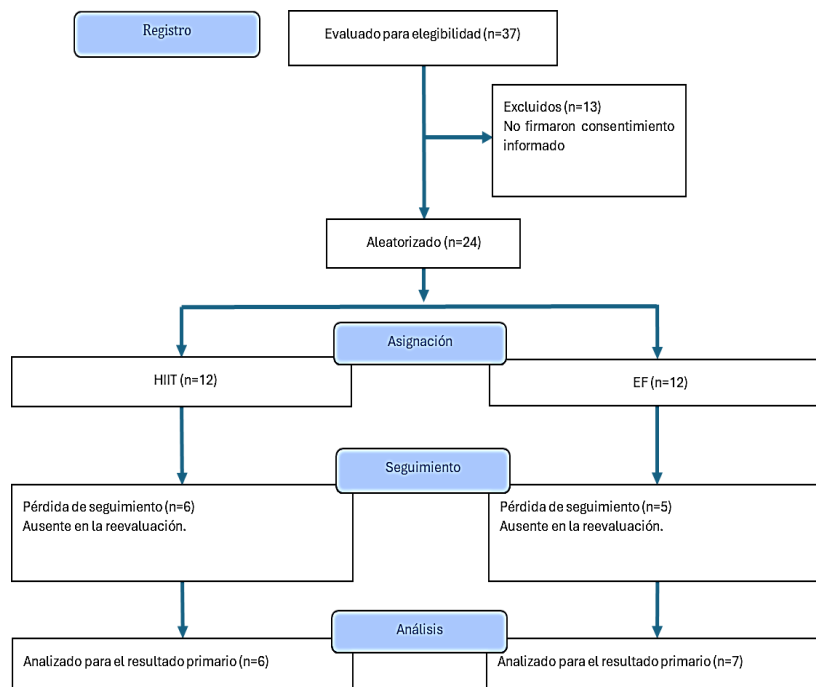
La población estudiada fueron personas pertenecientes al Programa de Salud Cardiovascular (PSCV) del Centro de Salud Familiar Externo (CESFAM) de Valdivia, Chile; la selección de los participantes fue a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, mediante una invitación abierta en las dependencias del CESFAM Externo de la ciudad de Valdivia, mientras los sujetos asistían a sus controles médicos. Dada la naturaleza piloto y exploratoria de este estudio, se apuntó a reclutar un mínimo de 6 personas por grupo (n total 12). Antes de participar fueron informados del objetivo del estudio y tuvie-

ron la posibilidad de resolver sus dudas contactando al investigador principal; y se les pidió que firmaran un formulario de consentimiento informado. Las intervenciones, que incluyeron evaluaciones y programas de ejercicios, se realizaron en el Centro de Salud Universitario San Sebastián en Valdivia, Chile, entre junio y noviembre de 2023.

## Participantes

Personas pertenecientes a un programa público de salud cardiovascular fueron llamados a participar de la investigación, la cual se realizó entre los meses junio y noviembre de 2023. Los criterios de inclusión fueron: a) estar inscrito en un programa de salud cardiovascular gubernamental, b) ser físicamente inactivo, según lo determinado por el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ) (Balboa-Castillo et al., 2023). Los criterios de exclusión fueron: a) personas con enfermedades crónicas no controladas, b) cardiopatía isquémica o arritmia, c) enfermedades agudas no resueltas, d) incapacidad para dar su consentimiento informado o cumplir con las pruebas y el protocolo de ejercicio por cualquier motivo. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, 37 individuos se identificaron como elegibles durante el reclutamiento del estudio, 13 optaron por no firmar el formulario de consentimiento informado. Los 24 participantes que otorgaron su consentimiento fueron asignados aleatoriamente en dos grupos: entrenamiento de fuerza (EF, n=12) y entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT, n=12). El grupo HIIT se consideró como comparador activo, dado que esta modalidad representa el enfoque más utilizado en estudios previos sobre flexibilidad metabólica. La asignación se realizó en una proporción 1:1 mediante un sistema en línea (<https://www.randomizer.org/>) el 22 de mayo de 2023. La ocultación de la asignación fue realizada por un investigador no involucrado en los procedimientos clínicos del estudio, que utilizó sobres opacos, sellados y numerados consecutivamente. La generación de secuencias aleatorias y el método de ocultación de la asignación ayudaron a controlar el sesgo de selección. Durante el periodo de seguimiento, 6 participantes del grupo control (HIIT) fueron excluidos debido a que se ausentaron a la reevaluación. En el grupo EF, otros 5 participantes fueron excluidos debido a las mismas causas. Finalmente, se realizó el análisis con 13 participantes con las siguientes distribuciones HIIT (n = 6) y EF (n = 7). El diagrama de flujo de los participantes del estudio según las directrices CONSORT, se presenta en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de flujo CONSORT



## Procedimiento



Todas las evaluaciones se realizaron en un espacio acondicionado en temperatura y medidas de comodidad para los participantes entre las 8:00 y las 10:30. Respecto a la ingesta calórica, el gasto y los niveles de actividad física durante la intervención de 8 semanas, se aconsejó a los participantes que mantuvieran sus comportamientos habituales.

### *Flexibilidad Metabólica*

La flexibilidad metabólica (METf) se define como la capacidad del organismo para adaptar eficientemente su metabolismo mediante la detección, tráfico, almacenamiento y utilización de diferentes sustratos energéticos según las demandas fisiológicas (Achamrah et al., 2021). En este estudio, se utilizaron el RER en ayunas y los patrones de oxidación de sustratos como estimadores de METf, siguiendo un enfoque metodológico respaldado por la literatura científica actual. Para evaluar la METf, se implementó una prueba de calorimetría indirecta (CI) en circuito abierto utilizando un ergoespirómetro estacionario modelo Cortex METALYZER® 3B-R2 (Gupta et al., 2017), realizando la calibración de aire ambiental antes de cada sesión de evaluación.

La CI constituye el método no invasivo de referencia para medir y monitorizar tanto el gasto energético como la utilización de sustratos, permitiendo cuantificar objetivamente la capacidad de adaptación metabólica del organismo. Para garantizar la precisión de las mediciones, los participantes debían cumplir con requisitos específicos: ayuno previo (8-10 horas), reposo completo, estado de vigilia y posición supina, siguiendo las recomendaciones estandarizadas para obtener mediciones fiables de la tasa metabólica en reposo (RMR). Se implementó un protocolo de medición de 30 minutos, descartando los primeros 5 minutos de datos para asegurar la estabilización de los gases respiratorios (Achamrah et al., 2021). Las evaluaciones se realizaron con turbinas desechables de calibración preestablecida, efectuando únicamente la calibración de aire ambiental antes de cada sesión.

La CI cuantifica el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y la producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), calculando el gasto energético mediante la ecuación de Weir. Esta metodología permite distinguir los diversos componentes del gasto energético y proporciona datos minuto a minuto en ventanas de 5 minutos durante la fase estable de respiración, manteniendo un coeficiente de variación  $\leq 10\%$  para  $VO_2$  y  $VCO_2$ , sin deriva sistemática del RER (Lam & Ravussin, 2017). De esta forma, es posible determinar las tasas de oxidación de macronutrientes (grasas, hidratos de carbono y proteínas) y calcular la relación de intercambio respiratorio ( $RER = VCO_2/VO_2$ ). El RER constituye un indicador clave de la flexibilidad metabólica, fluctuando fisiológicamente entre 0,67 y 1,2, dependiendo del sustrato predominante oxidado (0,7 para grasas; 0,8 para proteínas; 1,0 para carbohidratos) (Achamrah et al., 2021). Un RER bajo en condiciones de ayuno refleja una mayor capacidad para oxidar grasas como fuente energética principal, lo que representa un indicador de adecuada flexibilidad metabólica. Por el contrario, valores elevados de RER en ayunas sugieren una dependencia excesiva de carbohidratos incluso en estado de privación alimentaria, característica de la inflexibilidad metabólica presente en condiciones cardiometabólicas adversas (Lam & Ravussin, 2017). Las tasas de oxidación de sustratos se expresaron en g/d (gramos por día) siguiendo las convenciones establecidas en estudios previos de calorimetría indirecta que evalúan el metabolismo basal (Lam & Ravussin, 2017). Es importante precisar que estos valores representan una extrapolación matemática a partir del periodo estable de medición (25 minutos) y no constituyen una medición directa continua durante 24 horas. Esta unidad permite una interpretación clínica más intuitiva del metabolismo energético diario en condiciones de reposo, facilitando la comparación con valores de referencia poblacionales y con la literatura existente sobre flexibilidad metabólica.

### *Composición Corporal*

La talla se midió mediante un estadiómetro, con una precisión de medición de 0,1 cm (SECA Bodymeter 206) (Geeta et al., 2009). El peso corporal, el porcentaje de grasa corporal y la masa magra se midieron mediante un analizador de bioimpedancia (TANITA BC-534) (Vasold et al., 2019). Se instruyó a los participantes que evitarán comidas pesadas y ejercicio intenso antes de la medición. El error estándar de medición para la evaluación de la composición corporal utilizando el TANITA BC-534 fue de 0,46 kg, lo que indica una precisión fiable pero ligeramente variable en las estimaciones de grasa corporal y masa magra (Vasold et al., 2019). El índice de masa corporal (IMC) se estimó mediante la fórmula kg/m<sup>2</sup>.

### *Intervención*



La intervención consistió en un protocolo de EF o HIIT durante 8 semanas, supervisado y distribuido en 3 sesiones semanales (lunes, miércoles y viernes). Cada sesión tuvo una duración aproximada de 30 minutos; se midió la frecuencia cardíaca y la presión arterial de los participantes antes y después de cada sesión de ejercicio para garantizar la seguridad de los mismos. Si los valores registrados superaban los límites de seguridad establecidos (PAS > 180 mmHg, PAD > 110 mmHg) (Whelton et al., 2018), la sesión se suspendía inmediatamente. Las sesiones incluyeron calentamiento, ejercicio principal y enfriamiento. Antes del comienzo del programa de ejercicios, cada participante se sometió a tres sesiones de familiarización.

### *Entrenamiento de fuerza (EF)*

Consistió en contracciones concéntricas y excéntricas con bandas elásticas TheraBand CLX durante 1 minuto a una intensidad de 8-10 según la escala de ejercicios de resistencia OMNI (OMNI-RES) (Colado et al., 2020), combinado con un período de descanso de 2 minutos entre los ejercicios. La secuencia de ejercicios involucró 3 series totales de curls de bíceps, remo sentado y sentadillas. La progresión de la carga de ejercicio se realizó cada dos semanas en función de los ajustes fisiológicos de los participantes, de modo que la intensidad se mantuviera en 8-10 en el OMNI-RES. La resistencia de las bandas aumentó progresivamente en el siguiente orden: azul, negro, gris y dorado.

### *Entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT)*

El protocolo HIIT fue considerado como el grupo control; este consistió en 8-10 intervalos por sesión, realizados a una intensidad de 8-10 en la escala de Borg modificada (1-10 puntos) (Ciolac et al., 2015). Cada intervalo incluía un minuto de ciclismo de alta intensidad, seguido de dos minutos de recuperación activa, durante los cuales los participantes pedalearon en el cicloergómetro sin resistencia. Para garantizar un estímulo de entrenamiento constante, el número de intervalos, la duración del ejercicio y los períodos de descanso se mantuvieron constantes durante toda la intervención. Sin embargo, cada dos semanas, si un participante no alcanzaba una intensidad de 8 en la escala de Borg modificada durante los intervalos, la carga de ciclismo se ajustaba arbitrariamente utilizando los niveles de resistencia del ergómetro (que iban de 0 a 20). La resistencia al pedaleo se incrementó en consecuencia para mantener la intensidad objetivo dentro del rango de 8 a 10 en la escala.

### **Análisis de datos**

Los análisis se realizaron con IBM SPSS Statistics v26 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.) para la descripción y manejo de datos. Los datos fueron anonimizados mediante disociación para resguardar la confidencialidad, conforme a los estándares éticos aplicables. Las variables se presentan como media  $\pm$  desviación estándar (DE) en condición PRE y POST por grupo. Dado que este estudio corresponde a un ensayo clínico aleatorizado piloto, los resultados se reportaron principalmente bajo un enfoque de estimación, priorizando la magnitud y precisión de los efectos. Para cada variable se calculó el cambio individual como  $\Delta = \text{POST} - \text{PRE}$ . A nivel de cada grupo (EF y HIIT), se estimó el cambio medio ( $\Delta$ ) y su intervalo de confianza al 95% (IC95%) utilizando la distribución t de Student con  $n-1$  grados de libertad. La comparación principal entre modalidades se expresó como diferencia de cambios  $\Delta\Delta = (\Delta\text{EF} - \Delta\text{HIIT})$ , con su IC95% estimado mediante aproximación de Welch (sin asumir varianzas iguales), dado el tamaño muestral reducido y el potencial desbalance de dispersión entre grupos. Además, se reportó el tamaño de efecto estandarizado entre modalidades como Hedges g calculado sobre los cambios ( $\Delta$ ) con corrección por muestra pequeña. Las características basales se reportaron por grupo e incluyeron la diferencia basal (EF-HIIT) con IC95% y su Hedges g, con fines descriptivos.

## **Resultados**

Los análisis se realizaron por protocolo (per-protocol), incluyendo únicamente a los participantes que completaron la intervención de 8 semanas y disponían de mediciones PRE y POST válidas para los desenlaces analizados. En consecuencia, la muestra analítica final estuvo compuesta por 13 participantes (4 hombres y 9 mujeres) adscritos al Programa de Salud Cardiovascular (PSCV) del CESFAM Externo de Valdivia, Chile. Las pérdidas post-asignación correspondieron a no asistencia a la reevaluación POST (HIIT:  $n=6$ ; EF:  $n=5$ ); no se registraron retiros por eventos adversos relacionados con el entrenamiento.



Este enfoque se justifica por el carácter piloto del ensayo y su objetivo principal de estimar preliminarmente la magnitud del efecto y la factibilidad de la intervención, evitando sesgos derivados de datos incompletos y reduciendo la variabilidad atribuible a no adherencia al protocolo. No fue posible realizar análisis de sensibilidad tipo intención de tratar debido a la ausencia de mediciones POST en los participantes que no asistieron a la reevaluación, lo que impide una imputación válida en este ensayo piloto.

La adherencia promedio a la intervención fue 90% de las 24 sesiones programadas. La intensidad percibida durante el entrenamiento fue alta: en el grupo EF, la RPE medida con la escala OMNI-RES fue  $8,43 \pm 0,53$ , mientras que en el grupo HIIT, medida con la escala de Borg, fue  $8,17 \pm 0,41$ . No se registraron eventos adversos durante la intervención (p. ej., lesiones musculoesqueléticas, síncope, dolor torácico u otros eventos cardiovasculares agudos atribuibles al entrenamiento).

En la evaluación basal (PRE), los grupos EF (n=7) e HIIT (n=6) mostraron perfiles globalmente comparables en antropometría, composición corporal y metabolismo de reposo (Tabla 1). Las estimaciones sugirieron diferencias basales pequeñas en edad, peso e IMC, mientras que en composición corporal se observó una tendencia a mayor adiposidad en EF (masa grasa % y kg) y, de forma concordante, mayores proporciones relativas de masa muscular y agua corporal en HIIT. En las variables metabólicas basales, el metabolismo basal, el nivel de grasa visceral y el grado de obesidad presentaron magnitudes de diferencia bajas y con incertidumbre amplia. Del mismo modo,  $VO_2$ ,  $VCO_2$  y los marcadores de utilización de sustratos en reposo fueron similares entre modalidades, sin un patrón consistente que indicara un desequilibrio basal sistemático; en conjunto, estos resultados apoyan la comparabilidad inicial necesaria para interpretar los cambios longitudinales desde un enfoque de estimación.

Tabla 1. Características basales antropométricas, de composición corporal y metabolismo en reposo por grupo.

Variable	EF (n=7) Media $\pm$ DE	HIIT (n=6) Media $\pm$ DE	$\Delta$ (EF - HIIT) [IC95%]	Hedges g
Edad (años)	65,57 $\pm$ 6,5	69,6 $\pm$ 8,9	-4,03 [-13,9, 5,88]	-0,49
Peso (kg)	77,5 $\pm$ 12,5	74,6 $\pm$ 15,4	2,90 [-14,7, 20,5]	0,19
Talla (cm)	157 $\pm$ 1,8	158 $\pm$ 6,3	-1,00 [-7,59, 5,59]	-0,21
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	32 $\pm$ 4,2	29,7 $\pm$ 8,5	2,30 [-6,71, 11,3]	0,33
Masa grasa (%)	38,5 $\pm$ 6,4	32,3 $\pm$ 10,6	6,20 [-5,24, 17,6]	0,67
Masa grasa (kg)	30,2 $\pm$ 8,5	25,1 $\pm$ 14,1	5,10 [-10,1, 20,3]	0,42
Masa muscular (%)	58,3 $\pm$ 6,1	64,2 $\pm$ 10,1	-5,90 [-16,8, 5,00]	-0,67
Masa muscular (kg)	44,9 $\pm$ 6,7	46,8 $\pm$ 5,3	-1,90 [-9,23, 5,43]	-0,29
Masa magra (kg)	47,3 $\pm$ 7	49,3 $\pm$ 5,6	-2,00 [-9,70, 5,70]	-0,29
Agua total (%)	45,1 $\pm$ 4,7	51,4 $\pm$ 7,6	-6,30 [-14,5, 1,93]	-0,95
Agua total (kg)	34,8 $\pm$ 5,9	37,6 $\pm$ 4,5	-2,80 [-9,17, 3,57]	-0,49
Masa ósea (kg)	2,4 $\pm$ 0,3	2,5 $\pm$ 0,2	-0,100 [-0,409, 0,209]	-0,36
Metabolismo Basal (kcal)	1428,2 $\pm$ 200,4	1461 $\pm$ 160,4	-32,8 [-253, 188]	-0,17
Edad Metabólica	70,2 $\pm$ 12,6	67,1 $\pm$ 9,8	3,10 [-10,6, 16,8]	0,25
Nivel de grasa visceral	11,1 $\pm$ 3,6	12,5 $\pm$ 3,8	-1,40 [-5,97, 3,17]	-0,35
Grado de obesidad	45,8 $\pm$ 19,2	35,3 $\pm$ 38,7	10,5 [-30,5, 51,5]	0,33
VO <sub>2</sub> (L/min)	0,21 $\pm$ 0,030	0,2 $\pm$ 0,038	0,010 [-0,033, 0,053]	0,27
VCO <sub>2</sub> (L/min)	0,23 $\pm$ 0,035	0,2 $\pm$ 0,042	0,030 [-0,018, 0,078]	0,73
RER	1,05 $\pm$ 0,066	1,005 $\pm$ 0,043	0,045 [-0,023, 0,113]	0,74
RMR/Kg (kcal/d/kg)	20,48 $\pm$ 2,536	19,3 $\pm$ 3,189	1,18 [-2,45, 4,81]	0,38
RMR/BSA (kcal/d/m <sup>2</sup> )	890,28 $\pm$ 89,408	802,33 $\pm$ 112,256	87,9 [-39,7, 216]	0,81
CHO (g/d)	355 $\pm$ 62,356	319,66 $\pm$ 68,27	35,3 [-45,7, 116]	0,5
GRASA (g/d)	4,714 $\pm$ 9,428	4,833 $\pm$ 6,080	-0,119 [-9,75, 9,52]	-0,01
PRO (g/d)	17 $\pm$ 2,516	15,666 $\pm$ 2,943	1,33 [-2,08, 4,75]	0,46
EECHO (kcal/h)	60,857 $\pm$ 10,699	54,666 $\pm$ 11,877	6,19 [-7,83, 20,2]	0,51
EEFAT (kcal/h)	1,714 $\pm$ 3,401	2 $\pm$ 2,449	-0,286 [-3,88, 3,31]	-0,09
GEPRO (kcal/h)	3 $\pm$ 0,577	2,666 $\pm$ 0,516	0,334 [-0,334, 1,00]	0,56
RMR (kcal/d)	1573,142 $\pm$ 221,943	1424,33 $\pm$ 276,895	149 [-167, 464]	0,56

Tras 8 semanas de intervención, los cambios en composición corporal fueron, en general, de baja magnitud en ambos grupos. El peso tendió a disminuir en EF ( $\Delta = -1,2$  kg; IC95%  $-2,7$  a  $0,3$ ) y en HIIT ( $\Delta = -2,2$  kg; IC95%  $-4,9$  a  $0,5$ ), con una diferencia de cambios pequeña a favor de EF ( $\Delta\Delta = 1,0$  kg; IC95%  $-1,8$  a  $3,7$ ;  $g = 0,43$ ). En concordancia, la masa grasa (% y kg) presentó cambios discretos y sin diferenciación clara entre EF y HIIT.

En las variables de metabolismo energético y utilización de sustratos en reposo se apreciaron cambios fisiológicamente coherentes con una mejora de flexibilidad metabólica. El RER disminuyó en EF ( $\Delta = -0,100$ ; IC95%  $-0,179$  a  $-0,021$ ) y en HIIT ( $\Delta = -0,038$ ; IC95%  $-0,060$  a  $-0,017$ ), con una diferencia de



cambios que favoreció a EF ( $\Delta\Delta = -0,062$ ; IC95%  $-0,141$  a  $0,018$ ;  $g = -0,89$ ), aunque con incertidumbre compatible con ausencia de diferencias entre modalidades. Paralelamente, la oxidación de grasas aumentó en ambos grupos: EF ( $\Delta = 19,0$  g/d; IC95%  $1,9$  a  $36,1$ ) y HIIT ( $\Delta = 13,0$  g/d; IC95%  $1,6$  a  $24,4$ ), con una diferencia de cambios estimada a favor de EF, aunque con incertidumbre ( $\Delta\Delta = 6,0$  g/d; IC95%  $-12,5$  a  $24,5$ ;  $g = 0,36$ ).

De forma consistente, la contribución energética de grasas (EEFAT) se incrementó tanto en EF ( $\Delta = 7,57$  kcal/h; IC95%  $0,76$  a  $14,39$ ) como en HIIT ( $\Delta = 4,83$  kcal/h; IC95%  $0,72$  a  $8,95$ ), sin evidencia concluyente de superioridad entre modalidades ( $\Delta\Delta = 2,74$ ; IC95%  $-4,48$  a  $9,96$ ;  $g = 0,42$ ). En contraste, los cambios en  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , RMR y en la contribución energética de carbohidratos (EECHO) fueron heterogéneos y con IC95% amplios, lo que sugiere alta incertidumbre sobre diferencias entre modalidades en estos desenlaces dentro del marco de este ensayo piloto.

Tabla 2. Cambios en composición corporal, metabolismo energético y oxidación de sustratos tras 8 semanas de intervención

Variable	EF PRE (Media±DE)	EF POST (Media±DE)	$\Delta$ EF (POST- PRE) [IC95%]	HIIT PRE (Media±DE)	HIIT POST (Media±DE)	$\Delta$ HIIT (POST- PRE) [IC95%]	$\Delta\Delta$ (EF-HIIT) [IC95%]	Hedges g ( $\Delta\Delta$ )
Peso (kg)	77,6±12,6	76,3±12,5	-1,2 [-2,7, 0,3]	74,6±15,4	72,4±15,0	-2,2 [-4,9, 0,5]	1,0 [-1,8, 3,7]	0,43
IMC kg/m <sup>2</sup>	32,1±4,3	31,5±4,4	-0,6 [-1,4, 0,2]	29,8±8,5	29,2±8,5	-0,6 [-1,5, 0,3]	0,0 [-1,1, 1,1]	0,02
Masa grasa (%)	38,5±6,4	37,9±7,5	-0,6 [-1,9, 0,6]	32,3±10,7	32,4±9,3	0,1 [-2,0, 2,2]	-0,7 [-2,9, 1,5]	-0,39
Masa grasa (kg)	30,3±8,6	29,3±9,1	-0,9 [-2,2, 0,3]	25,2±14,1	24,4±12,4	-0,8 [-3,1, 1,5]	-0,2 [-2,5, 2,2]	-0,08
Masa muscular (%)	58,3±6,1	58,9±7,1	0,6 [-0,7, 1,8]	64,2±10,1	64,2±8,9	0,0 [-2,0, 2,0]	0,6 [-1,5, 2,6]	0,33
Masa muscular (kg)	44,9±6,7	44,6±7,3	-0,3 [-1,3, 0,8]	46,9±5,4	45,6±5,2	-1,2 [-3,5, 1,1]	0,9 [-1,4, 3,3]	0,51
Masa magra (kg)	47,3±7,1	47,0±7,7	-0,3 [-1,4, 0,8]	49,4±5,6	48,1±5,4	-1,3 [-3,8, 1,2]	1,0 [-1,5, 3,5]	0,51
Agua total (%)	45,2±4,7	45,6±4,5	0,4 [-0,7, 1,4]	51,5±7,7	51,0±8,0	-0,5 [-3,5, 2,4]	0,9 [-2,1, 3,8]	0,4
Agua total (kg)	34,9±5,9	34,7±6,1	-0,2 [-0,6, 0,2]	37,6±4,5	36,2±5,1	-1,4 [-3,0, 0,2]	1,2 [-0,4, 2,8]	1,01
Masa ósea (kg)	2,41±0,34	2,40±0,37	-0,01 [-0,10, 0,07]	2,50±0,28	2,42±0,26	-0,08 [-0,22, 0,06]	0,07 [-0,08, 0,21]	0,58
Metabolismo Basal (kcal)	1428±200	1418±213	-10 [-39, 19]	1461±160	1423±164	-38 [-101, 25]	28 [-36, 92]	0,55
Edad Metabólica	70,3±12,7	67,1±14,0	-3,1 [-7,6, 1,3]	67,2±9,8	62,7±8,6	-4,5 [-16,6, 7,6]	1,4 [-10,8, 13,5]	0,15
Nivel de grasa visceral	11,1±3,6	10,9±3,5	-0,3 [-0,7, 0,2]	12,5±3,9	11,0±3,5	-1,5 [-4,0, 1,0]	1,2 [-1,2, 3,7]	0,7
Grado de obesidad	45,8±19,2	43,2±19,7	-2,6 [-6,3, 1,1]	35,4±38,7	32,6±38,5	-2,8 [-7,0, 1,4]	0,2 [-4,7, 5,1]	0,05
VO <sub>2</sub> (L/min)	0,219±0,030	0,239±0,058	0,020 [-0,035, 0,075]	0,200±0,039	0,227±0,055	0,027 [-0,026, 0,079]	-0,007 [-0,074, 0,060]	-0,11
VCO <sub>2</sub> (L/min)	0,230±0,035	0,230±0,064	0,000 [-0,059, 0,059]	0,200±0,043	0,217±0,050	0,017 [-0,029, 0,062]	-0,017 [-0,083, 0,049]	-0,28
RER	1,053±0,066	0,953±0,059	-0,100 [-0,179, -0,021]	1,005±0,044	0,967±0,033	-0,038 [-0,060, 0,017]	-0,062 [-0,141, 0,018]	-0,89
RMR/Kg (kcal/d/kg)	20,49±2,54	21,83±3,51	1,34 [-3,28, 5,96]	19,30±3,19	21,80±3,94	2,50 [-2,60, 7,60]	-1,16 [-7,20, 4,88]	-0,22
RMR/BSA (kcal/d/m <sup>2</sup> )	890,3±89,4	957,9±186,9	67,6 [-150,4, 285,5]	802,3±112,3	911,3±177,4	109,0 [-98,3, 316,3]	-41,4 [-305,9, 223,0]	-0,18
CHO (g/d)	355,0±62,4	342,0±124,8	-13,0 [-115,0, 89,0]	319,7±68,3	335,7±81,0	16,0 [-62,5, 94,5]	-29,0 [-143,4, 85,4]	-0,28
GRASA (g/d)	4,7±9,4	23,7±22,4	19,0 [1,9, 36,1]	4,8±6,1	17,8±13,8	13,0 [1,6, 24,4]	6,0 [-12,5, 24,5]	0,36
PRO (g/d)	17,0±2,5	18,7±4,6	1,7 [-2,7, 6,2]	15,7±2,9	17,8±4,3	2,2 [-1,8, 6,2]	-0,5 [-5,7, 4,8]	-0,1
EECHO (kcal/h)	60,9±10,7	58,6±21,3	-2,3 [-19,5, 14,9]	54,7±11,9	57,8±13,9	3,2 [-10,4, 16,7]	-5,5 [-24,9, 14,0]	-0,31
EEFAT (kcal/h)	1,71±3,40	9,29±8,81	7,57 [0,76, 14,39]	2,00±2,45	6,83±5,23	4,83 [0,72, 8,95]	2,74 [-4,48, 9,96]	0,42
GEPRO (kcal/h)	3,00±0,58	3,43±0,79	0,43 [-0,30, 1,16]	2,67±0,52	3,17±0,75	0,50 [-0,07, 1,07]	-0,07 [-0,89, 0,75]	-0,1
RMR (kcal/d)	1573±222	1700±418	127 [-275, 529]	1424±277	1617±383	193 [-166, 552]	-66 [-541, 409]	-0,15

Los datos se presentan como media  $\pm$  desviación estándar (DE) para los valores PRE y POST en cada grupo. El cambio dentro de cada grupo se calculó a nivel individual como  $\Delta = \text{POST} - \text{PRE}$ , y se reporta como media de  $\Delta$  con su intervalo de confianza al 95% (IC95%). Los IC95% de  $\Delta$  se estimaron usando la distribución t de Student con  $n-1$  grados de libertad, dado el tamaño muestral reducido. La comparación principal entre modalidades se expresa como diferencia de cambios  $\Delta\Delta = (\Delta \text{EF} - \Delta \text{HIIT})$  con su IC95%, calculado mediante un enfoque de Welch (no asume varianzas iguales) a partir de las medias y desviaciones estándar de los cambios en cada grupo. El tamaño de efecto entre modalidades se reporta como Hedges g calculado sobre los cambios ( $\Delta$ ), utilizando la desviación estándar combinada (pooled) de los cambios e incorporando corrección por muestra pequeña. Valores positivos de  $\Delta\Delta$  indican un mayor cambio promedio en EF respecto de HIIT; valores negativos indican un mayor cambio en HIIT. Abreviaturas y unidades: EF: entrenamiento de fuerza; HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad; IMC: índice de masa corporal ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );  $\text{VO}_2$ : consumo de oxígeno ( $\text{L}/\text{min}$ );  $\text{VCO}_2$ : producción de  $\text{CO}_2$  ( $\text{L}/\text{min}$ ); RER: cociente respiratorio; RMR: gasto metabólico en reposo; BSA: superficie corporal ( $\text{m}^2$ ); CHO/GRASA/PRO: tasas de oxidación/estimaciones de utilización de carbohidratos, grasas y proteínas ( $\text{g}/\text{d}$ ); EECHO/EEFAT/GEPRO: contribución energética de carbohidratos, grasas y proteínas ( $\text{kcal}/\text{h}$ ).

## Discusión

La población con factores de riesgo cardiovascular (FRCV) enfrenta un desafío particular debido a la alta prevalencia de inactividad física y sedentarismo, factores reconocidos como determinantes clave de la inflexibilidad metabólica. Rynders et al. (2018) señalan que el comportamiento sedentario reduce la capacidad del organismo para alternar entre fuentes de energía, lo que concuerda con el perfil de los participantes del presente estudio. En este contexto, tanto el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) como el de fuerza (EF) pueden contrarrestar dichos efectos al promover adaptaciones que mejoren la eficiencia energética y la oxidación de grasas.

Tras ocho semanas de intervención, ambas modalidades de ejercicio mostraron cambios favorables en los estimadores de flexibilidad metabólica (METf) en reposo, evidenciadas por: i) reducción del RER basal; ii) aumento de la oxidación de grasas; y iii) mayor gasto energético derivado de la oxidación lipídica. Estos cambios reflejan una mayor capacidad del organismo para modular el uso de sustratos energéticos, reforzando el potencial del ejercicio físico como estrategia para optimizar la eficiencia metabólica en poblaciones con riesgo cardiometabólico.

Tanto el EF como el HIIT reducen el RER en reposo, sin evidencia concluyente de diferencias entre modalidades. Este descenso refleja un mayor uso de grasas como fuente energética en ayuno, indicador directo de mejoría en la flexibilidad metabólica (Goodpaster & Sparks, 2017). Este hallazgo sugiere una restauración parcial de la conmutación de sustratos energéticos en reposo, usualmente comprometida en individuos con FRCV (Ang et al., 2025).

Los resultados coinciden con estudios que reportan reducciones del RER y aumento de la oxidación lipídica tras programas interválicos o de fuerza (Aparecido et al., 2022; Park & Yang, 2023). No obstante, la magnitud del cambio varía según dosis, duración y condición inicial (Hunter et al., 2000; Moro et al., 2020; Paoli et al., 2012). El descenso del RER tras HIIT se asocia a la activación de AMPK-PGC-1 $\alpha$ , incremento de la biogénesis mitocondrial y transporte de sustratos, mejorando la eficiencia oxidativa aun sin cambios marcados en composición corporal (Lionett et al., 2021; Moro et al., 2020; Paoli et al., 2012; Park & Yang, 2023; Sultana et al., 2019); En el EF, se observan aumentos en GLUT4, sensibilidad a la insulina y contenido mitocondrial, junto a mejoras en el transporte  $\beta$ -oxidativo (CPT-1), lo que también contribuye a la reducción del RER (Aparecido et al., 2022; Colpitts et al., 2021; Moro et al., 2020; Park & Yang, 2023; Schubert et al., 2017). La evidencia apoya que revertir el sedentarismo mediante ejercicio, independientemente de la modalidad, mejora la "conmutación" de sustratos y el perfil oxidativo basal (Hunter et al., 2000; Moro et al., 2020; Schubert et al., 2017).

Este hallazgo refuerza el papel del ejercicio como modulador primario de la METf, incluso sin pérdida ponderal, sugiriendo que la mejora en la eficiencia oxidativa puede preceder a los cambios en composición corporal (Goodpaster & Sparks, 2017; Shoemaker et al., 2023). El aumento en la oxidación lipídica, junto con la reducción del RER, refleja una mejora coordinada de la capacidad muscular para utilizar grasas en reposo. La ausencia de diferencias entre HIIT y EF sugiere que ambos inducen estímulos comparables sobre las adaptaciones oxidativas. Estudios previos también reportan incrementos significativos en la oxidación de grasas tras programas de HIIT o "cardio yoga" (Colpitts et al., 2021; Park & Yang, 2023) y entrenamiento al punto de FATmáx (Lin et al., 2024). Sin embargo, algunos trabajos no observan cambios tras 20 sesiones de HIIT, lo que refuerza la existencia de variabilidad interindividual (Astorino et al., 2017).



Respecto al EF, la evidencia muestra resultados mixtos. Algunos autores describen incrementos en la oxidación lipídica y reducción del RER tras programas de fuerza, mientras otros encuentran efectos modestos, dependientes del balance energético y del nivel de entrenamiento previo (Ormsbee et al., 2007; Willis et al., 2012). Fisiológicamente, las mejoras observadas reflejan adaptaciones periféricas del músculo esquelético: aumento de PGC-1 $\alpha$ , biogénesis mitocondrial y enzimas de  $\beta$ -oxidación (CPT-1, HADH), junto con mayor sensibilidad a la insulina (Goodpaster & Sparks, 2017; Smith et al., 2018).

En el ámbito clínico, tanto HIIT como EF son estrategias efectivas para incrementar la oxidación lipídica y la eficiencia energética, sin requerir grandes volúmenes de ejercicio. Protocolos de corta duración con intensidad progresiva pueden revertir la inflexibilidad metabólica y mejorar el control cardiometabólico a corto y mediano plazo. El aumento del gasto energético derivado de la oxidación de grasas (EEFAT) mejoró en ambos grupos, reflejando una mayor eficiencia metabólica en el uso de grasas como sustrato. Estos resultados coinciden con estudios que demuestran aumentos del gasto lipídico tras 6–8 semanas de HIIT o sesiones intensas de EF (Aparecido et al., 2022). No obstante, otros autores no observan incrementos significativos, sugiriendo que el volumen total de trabajo y la intensidad relativa son determinantes críticos (Little et al., 2010). Fisiológicamente, el aumento del EEFAT  $\sim$ 4–8 kcal/h es relevante para mejorar el balance energético en FRCV (Paoli et al., 2012). En HIIT, los esfuerzos de alta intensidad generan déficit de oxígeno y un elevado consumo postejercicio (EPOC), lo que prolonga la oxidación de grasas durante la recuperación (Little et al., 2010). En EF, el incremento del gasto energético se asocia a la reparación muscular y síntesis proteica postejercicio, junto con una mayor activación de enzimas oxidativas (Dolezal & Potteiger, 1998; Paoli et al., 2012). Así, aunque los mecanismos difieren, ambos tipos de entrenamiento convergen en mejorar la eficiencia metabólica global.

En la práctica aplicada, estos hallazgos respaldan el uso de HIIT y EF como herramientas efectivas para mejorar la eficiencia metabólica sin alterar la tasa metabólica basal. El HIIT ofrece una alternativa eficiente en tiempo, mientras que el EF contribuye al mantenimiento de la masa magra y un mayor gasto postejercicio. Su aplicación combinada puede optimizar la oxidación de grasas y el control energético en el manejo del riesgo cardiometabólico.

### ***Implicancias clínicas***

Los hallazgos posicionan tanto al HIIT como al EF como estrategias viables para restaurar la METf y mejorar el perfil cardiometabólico sin requerir cambios ponderales sustanciales. Desde la práctica clínica, sesiones breves y de alta intensidad relativa pueden optimizar la eficiencia energética en poblaciones sedentarias. En la práctica comunitaria, su combinación —EF para preservar masa magra y HIIT para potenciar la oxidación de grasas— puede maximizar los beneficios metabólicos y reducir la progresión del riesgo cardiovascular. Diversas investigaciones refuerzan estos resultados: seis sesiones de HIIT mejoran la aptitud cardiorrespiratoria y la flexibilidad metabólica en adolescentes con obesidad (Aparecido et al., 2022) mientras que intervenciones de sprint aumentan la oxidación de sustratos en adultos con y sin obesidad (Colpitts et al., 2021). De igual forma, el ejercicio cardiovascular de alta intensidad mejora la METf en adultos sanos (Park & Yang, 2023). En conjunto, la evidencia respalda al HIIT como intervención eficaz para modular el metabolismo, incluso en períodos cortos.

El EF, por su parte, induce adaptaciones en el músculo esquelético (biogénesis mitocondrial, mayor función oxidativa) que mejoran la utilización de grasas e hidratos de carbono (Goodpaster & Sparks, 2017).

Aunque no se observa evidencia concluyente de diferencias entre EF e HIIT en METf, ambos producen mejoras similares, con una tendencia superior en la oxidación de grasas en el grupo EF. Esto puede atribuirse al incremento de masa magra y capacidad oxidativa muscular, lo que ofrece ventajas adicionales para el metabolismo basal.

La integración de estrategias nutricionales, como la dieta mediterránea, junto al ejercicio físico, puede potenciar los efectos sobre la METf en personas con resistencia a la insulina o enfermedad hepática metabólica (Mambrini et al., 2024).

### ***Limitaciones del estudio***

Este estudio piloto presenta limitaciones relacionadas con el tamaño muestral y la generalización de los resultados. Es importante destacar que nuestro estudio presentó una tasa de abandono considerable (aproximadamente 46%). Debido a limitaciones logísticas, no fue posible realizar una comparación sistemática de las características basales entre los participantes que completaron el estudio y aquellos que



lo abandonaron. La ausencia de un análisis comparativo entre los participantes que completaron el protocolo y aquellos que no lo completaron, constituye una limitación metodológica que podría afectar la validez interna de nuestros resultados.

Es importante señalar que los valores basales de RER superiores a 1 observados en algunos participantes, aunque coherentes con el perfil de inflexibilidad metabólica característico de poblaciones con FRCV, podrían también reflejar parcialmente artefactos técnicos, episodios de hiperventilación leve durante la medición o variabilidad instrumental. A pesar de haber implementado criterios de steady-state y descartar los primeros 5 minutos de datos para asegurar la estabilización de los gases respiratorios, estos valores deben interpretarse con cautela. No obstante, la consistencia en la dirección de los cambios tras la intervención (reducción del RER en ambos grupos) refuerza la validez de nuestros hallazgos principales sobre la mejora de la flexibilidad metabólica.

Además, no se controla la dieta y los niveles de actividad física durante las semanas de intervención. Se recomienda ampliar la muestra, extender la intervención y combinar el ejercicio con estrategias nutricionales, así como incluir biomarcadores moleculares de sensibilidad a la insulina y función mitocondrial. Futuras investigaciones deben evaluar protocolos combinados de EF y HIIT, y su sostenibilidad a largo plazo sobre la prevención cardiovascular (Huang et al., 2022).

## Conclusiones

Ocho semanas de HIIT o EF mostraron cambios favorables en estimadores de flexibilidad metabólica en adultos con factores de riesgo cardiovascular, reflejados en reducciones del RER y aumentos en la oxidación de grasas. Sin diferencias entre modalidades, ambas podrían representar estrategias potenciales para contrarrestar la inflexibilidad metabólica y mejorar la eficiencia energética. Estos hallazgos subrayan la importancia de promover el ejercicio físico como herramienta terapéutica, independientemente de la modalidad elegida. Estudios futuros con mayor tamaño muestral y seguimiento permitirán confirmar estos hallazgos y definir el impacto relativo de cada tipo de entrenamiento.

## Agradecimientos

Queremos expresar nuestros agradecimientos a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este estudio. En primer lugar, a los participantes del Programa de Salud Cardiovascular (PSCV) del CESFAM Externo de Valdivia, Chile, por su compromiso y disposición a formar parte de esta investigación. Agradecemos al Centro de Salud Universitario San Sebastián en Valdivia por facilitar las instalaciones para las evaluaciones y sesiones de entrenamiento. También extendemos nuestro reconocimiento al Comité Ético Científico del Servicio de Salud Valdivia por su aprobación y orientación ética (ORD. 166\_23). A los colegas y estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Rehabilitación y Calidad de Vida de la Universidad San Sebastián, sede Valdivia, por su apoyo en la logística y desarrollo del proyecto. Finalmente, agradecemos a las autoridades y personal del CESFAM Externo de Valdivia por su colaboración en el reclutamiento de participantes y el apoyo durante el proceso.

## Referencias

- Achamrah, N., Delsoglio, M., De Waele, E., Berger, M. M., & Pichard, C. (2021). Indirect calorimetry: The 6 main issues. *Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 40(1), 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.06.024>
- Allerton, T. D., Irving, B. A., Spielmann, G., Primeaux, S., Landin, D., Nelson, A., & Johannsen, N. M. (2019). Metabolic flexibility is impaired in response to acute exercise in the young offspring of mothers with type 2 diabetes. *Physiological Reports*, 7(17), e14189. <https://doi.org/10.14814/phy2.14189>
- Amaro-Gahete, F. J., Sanchez-Delgado, G., Ara, I., & Ruiz, J. (2019). Cardiorespiratory Fitness May Influence Metabolic Inflexibility During Exercise in Obese Persons. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 104(12), 5780-5790. <https://doi.org/10.1210/jc.2019-01225>



- Ang, J.-H. C., Sun, L., Foo, S.-Y. R., Leow, M. K.-S., Vidal-Puig, A., Fontana, L., & Dalakoti, M. (2025). Perspectives on whole body and tissue-specific metabolic flexibility and implications in cardiometabolic diseases. *Cell Reports Medicine*, 6(9), 102354. <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2025.102354>
- Aparecido, J. M. L., Marquezi, M. L., Couto, H. L. de O., Santos, T. M. da S., Cruz, A. F. C., Lopes, N. B., Cascajera, M. S., Xavier, V. B., Kochi, C., Alves, V. L. D. S., & Lancha, A. H. (2022). Six HIT Sessions Improve Cardiorespiratory Fitness and Metabolic Flexibility in Insulin Resistant and Insulin Sensitive Adolescents with Obesity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 10568. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710568>
- Astorino, T. A., Edmunds, R. M., Clark, A., Gallant, R., King, L., Ordille, G. M., Heath, B., Montell, M., & Bando, J. (2017). Change in maximal fat oxidation in response to different regimes of periodized high-intensity interval training (HIIT). *European Journal of Applied Physiology*, 117(4), 745-755. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3535-y>
- Balboa-Castillo, T., Muñoz, S., Serón, P., Andrade-Mayorga, O., Lavados-Romo, P., & Aguilar-Farias, N. (2023). Validity and reliability of the international physical activity questionnaire short form in Chilean adults. *PloS One*, 18(10), e0291604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291604>
- Cano-Montoya, J., Rojas Vargas, M., Báez Vargas, S., Núñez Vergara, C., Martínez Huenchullán, S., Gallegos, F., Álvarez, C., & Izquierdo, M. (2025). Impact of resistance and high-intensity interval training on body composition, physical function, and temporal dynamics of adaptation in older women with impaired cardiometabolic health: A randomized clinical trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(1), 78. <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01119-0>
- Ciolac, E. G., Mantuani, S. S., Neiva, C. M., Verardi, C., Pessôa-Filho, D. M., & Pimenta, L. (2015). Rating of perceived exertion as a tool for prescribing and self regulating interval training: A pilot study. *Biology of Sport*, 32(2), 103-108. <https://doi.org/10.5604/20831862.1134312>
- Colado, J. C., Furtado, G. E., Teixeira, A. M., Flandez, J., & Naclerio, F. (2020). Concurrent and Construct Validation of a New Scale for Rating Perceived Exertion during Elastic Resistance Training in The Elderly. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(1), 175-186.
- Colpitts, B. H., Seaman, K., Eadie, A. L., Brunt, K. R., Bouchard, D. R., & Sénéchal, M. (2021). Effects of sprint interval training on substrate oxidation in adults living with and without obesity: The i-FLEX study. *Physiological Reports*, 9(11), e14916. <https://doi.org/10.14814/phy2.14916>
- Dolezal, B. A., & Potteiger, J. A. (1998). Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 85(2), 695-700. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.2.695>
- Garthwaite, T., Sjöros, T., Laine, S., Koivumäki, M., Vähä-Ypyä, H., Verho, T., Norha, J., Kallio, P., Saarehovi, M., Löyttyniemi, E., Sievänen, H., Houttu, N., Laitinen, K., Kalliokoski, K. K., Vasankari, T., Knuuti, J., & Heinonen, I. (2024). Sedentary time associates detrimentally and physical activity beneficially with metabolic flexibility in adults with metabolic syndrome. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 326(4), E503-E514. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00338.2023>
- Geeta, A., Jamaiyah, H., Safiza, M. N., Khor, G. L., Kee, C. C., Ahmad, A. Z., Suzana, S., Rahmah, R., & Faudzi, A. (2009). Reliability, technical error of measurements and validity of instruments for nutritional status assessment of adults in Malaysia. *Singapore Medical Journal*, 50(10), 1013-1018.
- Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic Flexibility in Health and Disease. *Cell Metabolism*, 25(5), 1027-1036. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.015>
- Gupta, R. D., Ramachandran, R., Venkatesan, P., Anoop, S., Joseph, M., & Thomas, N. (2017). Indirect Calorimetry: From Bench to Bedside. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 21(4), 594-599. [https://doi.org/10.4103/ijem.IJEM\\_484\\_16](https://doi.org/10.4103/ijem.IJEM_484_16)
- Huang, W., Ruan, W., Huo, C., Lin, Y., Wang, T., Dai, X., Zhai, H., Ma, J., Zhang, J., Lu, J., & Zhuang, J. (2022). The effect of 12 weeks of combined training on hepatic fat content and metabolic flexibility of individuals with non-alcoholic fatty liver disease: Protocol of an open-label, single-center randomized control trial. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1065188. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1065188>
- 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. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 89(3), 977-984. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.3.977>

- Lam, Y. Y., & Ravussin, E. (2017). Indirect calorimetry: An indispensable tool to understand and predict obesity. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(3), 318-322. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.220>
- Lin, W. W., Su, H., Lan, X. Y., Ni, Q. Y., Wang, X. Y., Cui, K. Y., & Zhang, L. (2024). Effects of high-intensity interval training (HIIT) and maximum fat oxidation intensity training (MFOIT) on body composition, inflammation in overweight and obese adults. *Science & Sports*, 39(4), 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.09.002>
- Lionett, S., Kiel, I. A., Røsbjerg, R., Lydersen, S., Larsen, S., & Moholdt, T. (2021). Absent Exercise-Induced Improvements in Fat Oxidation in Women With Polycystic Ovary Syndrome After High-Intensity Interval Training. *Frontiers in Physiology*, 12, 649794. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.649794>
- 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*, 588(Pt 6), 1011-1022. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.181743>
- Mambrini, S. P., Grillo, A., Colosimo, S., Zarpellon, F., Pozzi, G., Furlan, D., Amodeo, G., & Bertoli, S. (2024). Diet and physical exercise as key players to tackle MASLD through improvement of insulin resistance and metabolic flexibility. *Frontiers in Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1426551>
- Moro, T., Marcolin, G., Bianco, A., Bolzetta, F., Berton, L., Sergi, G., & Paoli, A. (2020). Effects of 6 Weeks of Traditional Resistance Training or High Intensity Interval Resistance Training on Body Composition, Aerobic Power and Strength in Healthy Young Subjects: A Randomized Parallel Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4093. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114093>
- Ormsbee, M. J., Thyfault, J. P., Johnson, E. A., Kraus, R. M., Choi, M. D., & Hickner, R. C. (2007). Fat metabolism and acute resistance exercise in trained men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 102(5), 1767-1772. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00704.2006>
- 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. <https://doi.org/10.1186/1479-5876-10-237>
- Park, S.-Y., & Yang, W.-H. (2023). Applied high-intensity interval cardio yoga improves cardiometabolic fitness, energetic contributions, and metabolic flexibility in healthy adults. *Frontiers in Physiology*, 14, 1279505. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1279505>
- Rattanachaiwong, S., & Singer, P. (2019). Indirect calorimetry as point of care testing. *Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 38(6), 2531-2544. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.12.035>
- Roudi, F., Darroudi, S., Saghi, E., Hosseini, S. R., Kohantorabi, M., Rezvani, A., Jamialahmadi, T., Sahebkar, A., Moohebati, M., & Ghayour-Mobarhan, M. (2025). The correlation between indirect calorimetry data and the metabolic syndrome development in men and women. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 24(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s40200-024-01521-4>
- Rynders, C. A., Blanc, S., DeJong, N., Bessesen, D. H., & Bergouignan, A. (2018). Sedentary behaviour is a key determinant of metabolic inflexibility. *The Journal of Physiology*, 596(8), 1319-1330. <https://doi.org/10.1113/JP273282>
- Salman, D., Farooqi, M., McGregor, A., & Majeed, A. (2019). Time spent being sedentary: An emerging risk factor for poor health. *The British Journal of General Practice: The Journal of the Royal College of General Practitioners*, 69(683), 278-279. <https://doi.org/10.3399/bjgp19X703781>
- Schubert, M. M., Clarke, H. E., Seay, R. F., & Spain, K. K. (2017). Impact of 4 weeks of interval training on resting metabolic rate, fitness, and health-related outcomes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 42(10), 1073-1081. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0268>
- Shoemaker, M. E., Gillen, Z. M., Fukuda, D. H., & Cramer, J. T. (2023). Metabolic Flexibility and Inflexibility: Pathology Underlying Metabolism Dysfunction. *Journal of Clinical Medicine*, 12(13), 4453. <https://doi.org/10.3390/jcm12134453>
- Siripoksup, P., Cao, G., Cluntun, A. A., Maschek, J. A., Pearce, Q., Brothwell, M. J., Jeong, M.-Y., Eshima, H., Ferrara, P. J., Oporum, P. C., Mahmassani, Z. S., Peterlin, A. D., Watanabe, S., Walsh, M. A., Taylor, E. B., Cox, J. E., Drummond, M. J., Rutter, J., & Funai, K. (2024). Sedentary behavior in mice induces



- metabolic inflexibility by suppressing skeletal muscle pyruvate metabolism. *The Journal of Clinical Investigation*, 134(11), e167371. <https://doi.org/10.1172/JCI167371>
- Smith, R. L., Soeters, M. R., Wüst, R. C. I., & Houtkooper, R. H. (2018). Metabolic Flexibility as an Adaptation to Energy Resources and Requirements in Health and Disease. *Endocrine Reviews*, 39(4), 489-517. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00211>
- Sultana, R. N., Sabag, A., Keating, S. E., & Johnson, N. A. (2019). The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(11), 1687-1721. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01167-w>
- Vasold, K. L., Parks, A. C., Phelan, D. M. L., Pontifex, M. B., & Pivarnik, J. M. (2019). Reliability and Validity of Commercially Available Low-Cost Bioelectrical Impedance Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(4), 406-410. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0283>
- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Collins, K. J., Dennison Himmelfarb, C., DePalma, S. M., Gidding, S., Jamerson, K. A., Jones, D. W., MacLaughlin, E. J., Muntner, P., Ovbiagele, B., Smith, S. C., Spencer, C. C., Stafford, R. S., Taler, S. J., Thomas, R. J., Williams, K. A., ... Wright, J. T. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 138(17), e484-e594. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000596>
- Willis, L. H., Slentz, C. A., Bateman, L. A., Shields, A. T., Piner, L. W., Bales, C. W., Houmard, J. A., & Kraus, W. E. (2012). Effects of aerobic and/or resistance training on body mass and fat mass in overweight or obese adults. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 113(12), 1831-1837. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01370.2011>

### Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Carolina Núñez Vergara	carolina.nunez@uss.cl	Autora
Marcela Rojas Vargas	marcela.rojas@uss.cl	Autora
Sebastián Báez Vargas	sebastian.baez@uss.cl	Autor
Sergio Martínez Huenchullán	sergio.martinez@uss.cl	Autor
Johnattan Cano Montoya	johnattan.cano@uss.cl	Autor
Johnattan Cano Montoya	johnattan.cano@uss.cl	Traductor