

Respuesta autonómica e inflamatoria en obesos con resistencia a la insulina después de un entrenamiento de alta intensidad

Autonomic and inflammatory response in obese with insulin resistance after high-intensity Training

*Alexis Espinoza-Salinas, *Luis Peiret-Villacura, **Igor Cigarroa-Cuevas, ***Israel Podestá D, *Sergio Acuña-Vera, *Giovanny Arenas-Sanchez, ****Carlos Cristi-Montero, *****Jose González-Jurado

*Universidad Santo Tomás (Chile), **Universidad Arturo Prat (Chile), ***University of Leicester (Reino Unido), ****Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile), ***** Universidad Pablo de Olavide (España)

Resumen. La obesidad es vinculada a una inflamación crónica que altera no sólo los marcadores inflamatorios sino también al sistema nervioso autonómico, estableciendo una predominancia simpática conduciendo a un riesgo cardiovascular. De esa manera el entrenamiento cardiovascular es reconocido un tratamiento que no sólo modifica la condición física sino también responde a regular el sistema autonómico y a los marcadores inflamatorios. El objetivo de este estudio fue analizar los resultados de un entrenamiento cardiovascular de 8 semanas valorando la respuesta autonómica, inflamatorios y metabólicos en obesos. Un total de 28 participantes con obesidad fueron estratificados según su HOMA-IR, el grupo sin resistencia a la insulina (NIR) y grupo con resistencia a la insulina (IR). Los participantes se sometieron a un entrenamiento cardiovascular durante 8 semanas. Se consideraron variables metabólicas como la insulina, leptina, TNF α , IL6 y el índice HOMA-IR como también variables de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Los resultados muestran que en las diferencias de cambio entre el pre y post intervención de los marcadores inflamatorios representaron cambios favorables en IL10 (NIR -0,21 y IR -0,45 pg/ml) y en TNF α (NIR -0,23 y IR -0,51 pg/mL). Mientras que en la VFC sus diferencias de cambio fueron favorables ($p \geq 0,005$) SDNN (NIR 3,17 y IR 17,32 ms), RMSSD (NIR 11,45 y IR 23,27 ms) y en LF/HF ratio (NIR 0,74 y IR 2,25 Hz). Se concluye que después de 8 semanas de intervención, el entrenamiento cardiovascular en personas obesas con RI aumentó la modulación parasimpática y atenuó los marcadores inflamatorios.

Palabras Claves: Entrenamiento, función autonómica, marcadores inflamatorios, obesidad, resistencia a la insulina.

Abstract. Obesity is linked to chronic inflammation that alters not only inflammatory markers but also the autonomic nervous system, establishing a sympathetic predominance leading to cardiovascular risk. In this way, cardiovascular training is recognized as a treatment that not only modifies physical condition but also helps regulate the autonomic system and inflammatory markers. The objective of this study was to analyze the results of an 8-week cardiovascular training program by evaluating the autonomic, inflammatory, and metabolic responses in obese individuals. A total of 28 obese participants were stratified according to their HOMA-IR: the group without insulin resistance (NIR) and the group with insulin resistance (IR). The participants underwent cardiovascular training for 8 weeks. Metabolic variables such as insulin, leptin, TNF α , IL6, and the HOMA-IR index were considered, as well as variables of heart rate variability (HRV). The results show that the differences in change between pre- and post-intervention inflammatory markers represented favorable changes in IL10 (NIR -0.21 and IR -0.45 pg/ml) and in TNF α (NIR -0.23 and IR -0.51 pg/ml). In terms of HRV, the changes were favorable ($p < 0.005$) for SDNN (NIR 3.17 and IR 17.32 ms), RMSSD (NIR 11.45 and IR 23.27 ms), and LF/HF ratio (NIR 0.74 and IR 2.25 Hz). It is concluded that after 8 weeks of intervention, cardiovascular training in obese individuals with IR increased parasympathetic modulation and attenuated inflammatory markers.

Keywords: Training, autonomic function, inflammatory markers, obesity, insulin resistance

Fecha recepción: 21-06-24. Fecha de aceptación: 08-10-24

Alexis Espinoza-Salinas
alespinozasalinas@gmail.com

Introducción

En la actualidad, la obesidad es considerada como uno de los factores de mortalidad en el mundo junto con ser la precursora de otras enfermedades crónicas no transmisibles siendo considerada como un problema de salud y determinante de la calidad de vida de las personas (Endalifer & Diress, 2020; Mohammadian Khonsari et al., 2023). La liberación de las citoquinas, respuesta fisiológica como resultante de la acumulación del tejido graso, son las causantes de una diferenciación, proliferación y actividad de las células inmunitarias las cuales conllevan a cambios transversales e inter sistémicos del organismo siendo predominante en personas obesas (Wang and He 2018). El Sistema Nervioso Autonómico (SNA) a través de la activación predominante de las fibras simpáticas que inervan el tejido adiposo es una de las frecuentes alteraciones que se produce por la liberación crónica de las citoquinas. Cambios en la actividad nerviosa simpática muscular, presencia alta

de noradrenalina en el plasma, sobreestimulación de la lipólisis y vasoconstricción de las arteriolas periféricas son algunas de las modificaciones que se presentan en este desequilibrio predominando la activación del sistema nervioso simpático y una disminución de la actividad vagal (Quartí et al., 2020; Schlaich et al., 2015). La activación simpática frecuente en el obeso, ocasionada por el estado inflamatorio crónico dispone un factor predictivo de disfunciones metabólicas asociado con la inflamación, la resistencia a la insulina, la dislipidemia y el riesgo cardiovascular (Saxton, Clark, et al., 2019). Provocando cambios funcionales y metabólicos como la diabetes de tipo II, la hipertensión, los accidentes cerebrovasculares, ciertos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares determinado por las alteraciones en los sistemas orgánicos (Rossi et al., 2015; Regina de Sousa et al. 2024). Dentro de los diversos tratamientos para la obesidad y sobre todo para buscar la disminución de esta activación simpática, el ejercicio físico de forma regular ha sido uno de los factores que tienen mayor evidencia y es protector siendo una de las

principales terapias no farmacológicas, para disminuir los índices de obesidad y prevalencia de esta misma (O'Donoghue et al., 2021; Olateju et al., 2023). Muchas son las metodologías de entrenamiento que buscan apoyar al déficit energético y la utilización de los ácidos grasos pero la estrategia más frecuente para el manejo del desequilibrio autonómico busca favorecer la activación vagal y reducir la carga simpática en reposo (Saxton, Withers, et al., 2019) junto con la reducción de la síntesis y liberación de citoquinas proinflamatorias (Dias et al., 2021; J. Lee, 2020).

En este sentido, el entrenamiento cardiovagal, ejercicio basado en cambios bruscos de intensidad (de baja a alta) (Besnier et al., 2017), ha sido demostrado ser eficaz en la mejora de la salud de las personas con obesidad, produciendo iguales o mayores ganancias cardiometabólicas en el corto plazo, en comparación al ejercicio aeróbico continuo, presentando una percepción del esfuerzo menor y reduciendo el riesgo de padecer una ECV en adultos sanos (Duarte et al., 2013; Dun et al., 2019). Pero sobre todo tiene una estrecha relación con su cambio de intensidad a la modificación del equilibrio autonómico a través de cambios en la actividad vagal y en la regresión de la actividad simpática (Besnier et al., 2019; Espinoza-Salinas et al., 2019).

De esa manera, en la literatura científica se observan intervenciones con ejercicio en individuos obesos y sus efectos sobre la variabilidad de la frecuencia cardiaca (Besnier et al., 2019; Raffin et al., 2019) y la inflamación (Hejazi & Wong, 2023; Sirico et al., 2018) pero pocas han sido las intervenciones que impliquen el entrenamiento cardiovagal y observen las respuesta autonómica y la resistencia a la insulina. De ahí nace el objetivo de este estudio, el cual busca analizar el efecto de un protocolo de entrenamiento cardiovagal sobre un grupo de personas obesas con RI y sin RI de tal manera que se pueda ver su respuesta inflamatoria y autonómica esperando obtener como hipótesis que el entrenamiento cardiovagal disminuye los marcadores inflamatorios y aumenta la respuesta vagal en sujetos con obesidad.

Materiales y Método

Estudio controlado no aleatorizado, aprobado por el Comité de Ética y basado en la lista de comprobación CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials) (Merkow et al., 2021).

La muestra fue seleccionada por muestreo no probabilístico de conveniencia siendo compuesta por 28 participantes y sus criterios de inclusión fueron: a) estar en el rango de edad entre 18 y 30 años; b) que su IMC fuera $\geq 30,0$ y; c) que sean inactivos físicamente según el cuestionario internacional de actividad física (Sember et al., 2020). Como criterio de exclusión se consideraron: (i) presión arterial (PA) $\geq 130/85$ mmHg, (ii) estar diagnosticado de alguna enfermedad músculo esquelética, pulmonar o neurológica que les impidiera realizar el protocolo de ejercicios, y (iii) estar en tratamiento con algún fármaco que afectara a la función autonómica. Al iniciar el estudio se aconsejó a los participantes que no realizarán actividades físicas extenuantes 24

horas antes de las mediciones y se midieron la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) y los marcadores sanguíneos tras 8 horas de ayuno nocturno; entre las 8 y las 10 de la mañana, dos días antes y dos días después de la intervención cardiovagal (Tabla 1). Una vez aplicados los criterios, los participantes se distribuyeron en dos grupos, asignados según su valor HOMA-IR (Kurtoğlu et al., 2010) (Homeostasis Model Assessment of Insulin Resistance) con un valor HOMA-IR inferior a 2,5 nmol/L para el grupo obeso sin resistencia a la insulina (NIR) con un total de 10 participantes, media de 26,3 años, con un índice de masa corporal (IMC) de 32,32 kg/m² y con una Circunferencia de Cintura (CC) de 114,7 cm y con un valor HOMA-IR superior a 2,5 para el grupo obeso con resistencia a la insulina (IR) se conformó con un total de 18 participantes con una media de 25,7 años, 34,77 kg/m² de IMC y 120,4 cm de CC, tabla 1.

Variables

Para determinar la composición corporal de los participantes se determinó el estado IMC obtenido por la estatura y el peso de los participantes junto con la CC medida por una cinta antropométrica (SECA - 203®, precisión de 0,1 cm) (Tabla 1) (Rumbo-Rodríguez et al., 2021).

Para los marcadores inflamatorios y determinación de la IR se recogieron muestras de sangre (5 ml) para la determinación de glucosa e insulina mediante un equipo analizador de química clínica SIEMENS ADVIA 2400®. Se determinó el HOMA-IR por la ecuación $[\text{insulina en ayunas "uU/mL"} \times \text{glucosa en ayunas "mg/dL"}] / 405$ (Acosta B et al., 2002). Y mediante ELISA (ensayo inmunoenzimático) utilizando un equipo de espectrofotometría visible Iris - HI801 (HANNA Instruments®) se obtuvieron los marcadores inflamatorio interleucina-6 (IL-6), interleucina-10 (IL-10), factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), leptina y adiponectina y se calculó la variable adiponectina/leptina, que está asociada a la función del tejido adiposo, siendo un biomarcador de IR y un factor de riesgo de enfermedades cardiometabólicas (Frühbeck et al., 2018).

Para la función autonómica se consideró la VFC medida por los intervalos R-R del complejo QRS dadas por la banda cardíaca Polar, modelo H7® e analizadas por el programa informático Kubios HRV 2.2 (Departamento de Física Aplicada, Universidad de Finlandia Oriental, Kuopio, Finlandia) (Perrotta et al., 2017). El protocolo de evaluación de la VFC es en reposo, posición decúbito supino durante 10 minutos con una temperatura ambiente agradable (22-24°C) y en un espacio sin ruidos altos. A partir del análisis se consideran los componentes del dominio de la frecuencia; la baja frecuencia (LF), que oscila entre 0,04 y 0,15 hercios y está relacionado con la activación simpática; la alta frecuencia (HF), que oscila entre 0,15 y 0,4 hercios (Hz) y está relacionado con la activación vagal; y la relación LF/HF, ratio que representa indirectamente el equilibrio simpático-vagal (Shaffer & Ginsberg, 2017). Los componentes temporales de la VFC que se

consideraron fueron: el PNN50 (número de intervalos adyacentes que varían en más de 50 ms, expresado en %), que es una variable derivada de la diferencia de los intervalos R-R; el RMSSD (cuadrado de la raíz media de la unión de los intervalos R-R adyacentes), que proporciona un indicador del control cardíaco errante y el SDNN (desviación estándar para todos los intervalos R-R), que describe las variaciones cortas o largas de los intervalos R-R (Perrotta et al., 2017; Shaffer & Ginsberg, 2017).

Protocolo de Intervención

Antes de comenzar con el protocolo se evaluó la frecuencia cardíaca, la presión arterial y el esfuerzo percibido mediante la escala de Borg (escala de 6 al 20) durante la ejecución del ejercicio. El entrenamiento cardiovascular se realizó en un cicloergómetro sin resistencia externa (Monark®, modelo Ergomic 874E) durante 8 semanas, 5 veces por semana. El protocolo consistió en dos fases: 1) sentado durante 55 segundos sin pedalear (fase pasiva), y 2) pedaleo a toda velocidad durante cinco segundos (fase activa). Estas dos fases se realizaron 10 veces con una duración de 10 minutos como es descrito por Espinoza-Salinas (2019). Se consideraron como criterios para interrumpir el protocolo de entrenamiento cuando escala de Borg se reporte >15, cuando la frecuencia cardíaca esté > 80% FC_{máx}, y la presión arterial sistólica fuera >160 mmHg y/o presión arterial diastólica fuera >100 mmHg (Espinoza-Salinas et al. 2019).

Análisis Estadístico

Se presentan los datos descriptivos en términos de la media y la desviación típica. La confiabilidad de las mediciones se evaluó mediante un intervalo de confianza del 95% para las medias. Las diferencias entre grupos fueron examinadas a través de los cambios pre y post intervención. Se llevó a cabo un análisis factorial 2x2 de modelo mixto, que incluyó el factor fijo "Resistencia a la insulina" con 2 grupos, ajustado por sexo con 2 niveles. Además, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) con las variables pre-test, sexo y edad como covariables para comparar entre grupos (Δ post-pre). Se verificó la distribución de los residuos y la homogeneidad de las varianzas. En situaciones donde los supuestos de normalidad y homocedasticidad no se cumplieron, se aplicó un análisis de regresión cuantil. Se empleó el eta-cuadrado parcial (η^2) como medida de tamaño de efecto, donde $\eta^2 = 0,02$ se considera un efecto pequeño, $\eta^2 = 0,06$ un efecto medio y $\eta^2 = 0,12$ un efecto grande. El umbral de significación estadística se estableció en $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa IBM SPSS Statistics 26 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.).

Resultados

La tabla 1 describe los resultados de la muestra conformada de 28 personas (68% hombres y 32% mujeres). La media de la edad, el peso, el IMC y el CC de los participantes total fue de 25,18 años, 98,05 kilos, 33,54 kg/m² y 123,4 cm.

Tabla 1.
Características basales (medias, DE e IC [95%]).

	Todos n=28			NIR n=10			IR n=18		
	Media \pm DE	LI	LS	Media \pm DE	LI	LS	Media \pm DE	LI	LS
Edad (años)	25,18 \pm 1,27	22,69	27,67	26,3 \pm 1,54	23,26	29,34	25,7 \pm 1,05	21,41	28,23
Altura (m)	1,72 \pm 1,18	1,67	1,78	1,73 \pm 1,09	1,68	1,74	1,75 \pm 0,7	1,70	1,81
Peso (kg)	98,05 \pm 5,72	86,83	109,27	94,47 \pm 2,17	89,19	98,24	97,54 \pm 3,12	91,21	99,48
IMC (kg/m ²)	33,54 \pm 3,28	27,10	39,8	32,32 \pm 0,98	30,84	34,57	34,77 \pm 1,84	31,51	35,49
CC (cm)	123,4 \pm 9,41	113,9	132,8	114,7 \pm 2,57	107,8	118,9	120,4 \pm 2,52	117,84	123,54
Insulina (uU/mL)	12,86 \pm 0,76	11,37	14,35	9,24 \pm 0,71	8,45	12,05	12,46 \pm 0,65	11,14	14,22
Glucosa (mg/dL)	98,3 \pm 7,65	83,29	113,31	87,05 \pm 2,53	86,74	94,62	103,4 \pm 4,2	99,07	106,14
HOMA-IR	2,97 \pm 0,87	2,10	3,84	2,33 \pm 0,55	2,14	2,46	3,35 \pm 0,82	3,10	3,52

Nota: IMC (índice de masa corporal); CC (circunferencia de cintura); NIR (No insulino resistente); IR (insulino resistente); LI (límite inferior); LS (límite superior)

En relación con los resultados pre y post intervención obtenidos de las muestras de sangre pre y post intervención (IL-6, IL-10, TNF α y cociente adiponectina/leptina) y de VFC pre y post intervención (SDNN, RMSSD y LF/HF) se consideraron los cambios delta como referencia (Figura 1 y Figura 2).

En los marcadores inflamatorios se confirma que el cambio con el entrenamiento cardiovascular fue favorable para cada una de las variables y significativo en ambos grupos; en IL6 fue para NIR (pre 2,06 \pm 0,21 y post 1,73 \pm 0,17 pg/mL, $p=0,001$) y para IR (pre 2,86 \pm 0,37 y post 2,28 \pm 0,37 pg/mL, $p=0,001$); en IL-10 fue para NIR (pre 3,14 \pm 0,25 y post 2,78 \pm 0,21 pg/mL, $p=0,001$) y para IR (pre 3,25 \pm 0,22 y post 2,59 \pm 0,26, $p=0,001$); en TNF α fue para NIR (pre 2,70 \pm 0,20 y post 2,53 \pm 0,23 pg/mL, $p=0,004$) y para IR (pre 3,42 \pm 0,19 y post 2,77 \pm 0,26

pg/mL, $p=0,001$); y en cociente adiponectina/leptina fue para para NIR (pre 0,17 \pm 0,02 y post 0,21 \pm 0,01, $p=0,001$) y para IR (pre 0,13 \pm 0,01 y post 0,17 \pm 0,02, $p=0,001$). De esa manera en la figura 1, se presentan las diferencias de cambios entre el pre y post intervención de cada uno de los marcadores inflamatorios donde IL-10 aumentó [IC del 95% (0,55, 0,76; $p \leq 0,05$)] y el TNF- α disminuyó [IC del 95% (-0,75, -0,55; $p \leq 0,001$)] al comparar NIR vs. IR y mostraron cambios significativos ($p < 0,05$) posterior al entrenamiento cardiovascular. Y aunque no hubo cambio significativo en el resto de las demás si en todas las variables en ambos grupos disminuyeron (IL-6 en NIR -0,41 pg/ml y en IR -0,73 pg/ml; IL10 en NIR -0,21 pg/ml y en IR -0,45 pg/ml; TNF α en NIR -0,23 y en IR -0,51) y el

cociente adiponectina/leptina aumentó en ambos grupos (en NIR 0,037 y en IR 0,035), Figura 1.

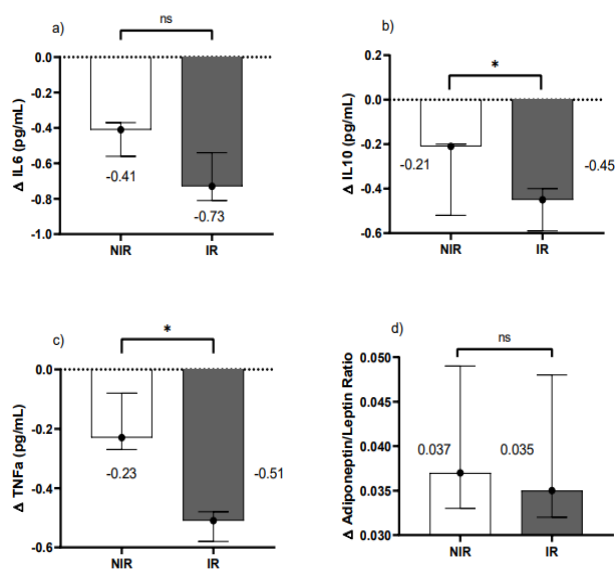


Figure 1. Cambios delta pre-post en marcadores inflamatorios.

Nota: NIR (No insulino resistente); IR (insulino resistente); IL-6 (Interleuquina 6); IL-10 (Interleuquina 10); TNF α (Tumoral necrosis factor- α); adiponectin and leptin ratio (coeficiente Adiponectina /Leptina). * Diferencias significativas entre grupos ($p < 0,05$); ns: sin diferencias significativas ($p > 0,05$).

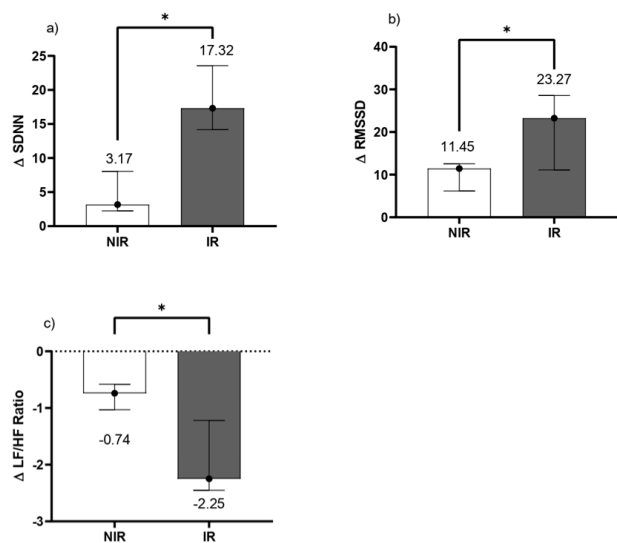


Figure 2. Cambios delta pre-post en parámetros de Variabilidad de Frecuencia Cardíaca. Nota: NIR (grupo no insulino resistente); IR (grupo insulino resistente). SDNN (desviación estándar de los intervalos R-R); RMSSD (raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes); LF/HF ratio (cociente LF/HF). * Diferencias significativas entre grupos ($p < 0,05$).

En relación con las variables de la VFC también disminuyeron y lograron cambios significativos entre sus valores basales y post intervención. En SDNN para el NIR (pre $60,10 \pm 20,08$ y post $65,25 \pm 20,96$ ms, $p = 0,004$) y para el IR (pre $61,27 \pm 7,07$ y post $80,14 \pm 9,41$ ms, $p = 0,001$); en RMSSD para NIR (pre $82,16 \pm 25,74$ y post $91,52 \pm 26,09$ ms, $p = 0,001$) y para IR (pre $80,60 \pm 14,07$ y post $100,43 \pm 18,49$ ms, $p = 0,001$); y en cociente LF/HF para

el NIR (pre $3,25 \pm 0,30$ y post $2,44 \pm 0,29$, $p = 0,001$) y para IR (pre $3,93 \pm 1,02$ y post $2,35 \pm 0,77$, $p = 0,001$). En Figura 2 las medidas de VFC post intervención de ambos grupos (Figura 2) presentaron aumentos en las variables de la modulación autonómica parasimpática Δ SDN [IC del 95% ;14,16, 23,57; $p \leq 0,001$] y Δ RMSSD (11,1, 28,56; $p \leq 0,05$) mostraron una frecuencia alta al comparar NIR vs. IR. Diferencia significativa ($p < 0,05$) existe en SDNN (3,17 ms en NIR y 17,32 ms en IR), en RMSSD (11,45 ms en NIR y 23,27 ms en IR) y en LF/HF ratio (0,74 Hz en NIR y 2,25 Hz en IR).

Discusión

El entrenamiento cardiovascular en los dos grupos de participantes con obesidad con y sin resistencia a la insulina, presentó en primer lugar una aceptación y adaptación al protocolo descrito por parte de los participantes y en segundo lugar presentaron mejoras en las variables proinflamatorias y de la función autonómica. Esto se confirma con la evidencia que describe cómo los entrenamientos basados en intervalos de alta intensidad afectan positivamente en personas con obesidad en relación a la reducción de los marcadores inflamatorios (Khalafi & Symonds, 2020), disminución de la respuesta simpática (Strüven et al., 2021) y en la composición corporal (Wang et al., 2022; Wewege et al., 2017).

Los efectos favorables del entrenamiento cardiovascular se puede entender en primer lugar por el componente interválico, pues múltiples repeticiones van reeducando el arco reflejo que vuelve a la activación vagal inducida por el ejercicio, condicionando la cinética de la FC con un comportamiento bifásico, caracterizado por un rápido descenso debido a un aumento de la actividad vagal, seguido de una segunda fase más larga de descenso de la FC debido a un lento retroceso simpático-adrenal (Araújo et al. 2015; Duarte et al., 2013; Cuevas et al. 2023). En segundo lugar, por el componente de alta intensidad el cual modula la respuesta del barorreceptor, pues al estar vinculado al elevado volumen sanguíneo por el requerimiento de la intensidad, se desencadena una gran potencia de eyección cardíaca posterior al esfuerzo (White & Raven, 2014; Dávila Grisalez et al. 2020).

Este entrenamiento cardiovascular ha sido confirmado por Duarte et al. (2013), el cual realizó un estudio de 8 semanas, 3 veces por semana a 44 participantes. El entrenamiento cardiovascular se realizó en un cicloergómetro y consistió en 5 repeticiones de 5 segundos cada una a máxima velocidad sin carga, con 55 segundos de descanso entre repeticiones. Como resultado de este protocolo se observó una disminución inmediata del tono vagal, una sobrecarga de volumen/presión en los cuerpos carotídeos y la reeducación del arco reflejo (Duarte et al., 2013). Mientras que en Espinoza-Salinas et cols., 2019 con 20 sujetos con sobrepeso y sin morbilidades dividió un grupo que desarrolló un programa de entrenamiento con ejercicios aeróbico, flexibilidad, coordinación, fuerza y estabilización lumbopélvica

mientras que el grupo de intervención además de ese entrenamiento se le incorporó el cardiovagal tres veces por semana. Este protocolo cardiovagal se ejecuta sobre un cicloergómetro sin resistencia externa y con las mismas dos fases planteada en este estudio, la fase pasiva (sentado durante 55 segundos sin pedalear) y la fase activa (pedaleo a máxima intensidad durante cinco segundos) pero sólo cinco veces, con una duración total de cinco minutos (Dun et al., 2019; Espinoza-Salinas et al., 2019; Sánchez-Otero et al. 2022).

En relación a los resultados con las variables del sistema autonómico, se halló que el entrenamiento cardiovagal disminuyó la actividad simpática (reflejada con el LF) y aumentó todas las variables relacionadas con la respuesta parasimpática (HF, LF/HF, SNND, PNN50 y RMSSD) (Tabla 2). Esto puede estar relacionado con la activación nerviosa simpática que afecta la fisiopatología de la obesidad pues en la fase inicial de recuperación post ejercicio, donde existe una rápida disminución de la FC seguida de una fase más lenta de recuperación permite una activación del sistema parasimpático como una disminución del sistema simpático dada por la orden del sistema nervioso central y la fase lenta por el clearance de metabolitos y señales neurohumorales que modularon el balance autonómico (Duarte et al., 2013; Espinoza-Salinas et al., 2019; Regina de Sousa et al. 2024)

Marcadores relacionados con la obesidad, como el aumento de TNF α en sangre provoca un fallo en la señalización intracelular de las neuronas eferentes simpáticas y parasimpáticas del tronco cerebral, aumentando la descarga simpática cardíaca y renal (Izzatunnisa et al. 2024; E. K. Johnston & Abbott, 2023). De esa manera, similares resultados se reportaron en un estudio de Silva et al. el cual aplicó un protocolo cardiovagal durante 8 semanas, 3 veces por semana, donde aplicó un entrenamiento de alta intensidad 4:3 (3 repeticiones de 4 minutos cada una al 90% VO₂max) (Silva et al., 2019). En este estudio, obtuvo mejoras en las variables lineales relacionadas con la respuesta vagal por estar relacionada con el volumen de eyección, el cual al aumentar enviaría una señal al sistema nervioso central, que desencadenaría un retroceso simpático y una activación vagal durante la fase de recuperación (White & Raven, 2014).

En relación a los marcadores inflamatorios, en primer lugar se destaca que el grupo IR obtuvo valores altos en su estado proinflamatorio en relación al grupo NIR, el cual puede ser explicado por la relación que existe en que ciertos marcadores como el TNF α está vinculado con el desarrollo de la RI (González-Jurado et al., 2020) y a la sensibilidad a la insulina de los adipocitos a través de alteraciones en las vías de señalización (Wu & Ballantyne, 2017). Y en segundo lugar cabe destacar como el grupo IR respondió mejor al entrenamiento que el NIR explicada como el proceso inflamatorio crónico leve es aumentando con resistencia a la insulina, creando un cambio en el estado de los macrófagos hacia un estado pro-inflamatorio dada por la alteración de la estructura y la función del tejido adiposo (Zhang et al., 2022).

Estudios similares confirman cambios favorables en obesos que entrenan ejercicios de alta intensidad interválico. Santos et al. evaluó el efecto de un protocolo de ejercicio de 16 semanas sobre marcadores inflamatorios (IL-6, IL-10, TNF- α y adiponectina) e insulina en sujetos obesos y con sobrepeso (Santos et al., 2016). Su protocolo consistió en cinta rodante 3 veces por semana con un protocolo de HIIT 1 X 4 min al 90% HRmax. Mientras que en González-Jurado et al. obtuvo similares resultados después de 8 semanas de entrenamiento concurrente (3 veces a la semana) el aumento significativo de los niveles de la relación adiponectina / leptina en los hombres (+ 63,5%) y las mujeres obesas (+ 59,2%) (González-Jurado et al., 2020).

Uno de los resultados de este estudio es confirmar como el entrenamiento cardiovagal además de ser tolerado por la población con obesidad, produce modificaciones favorables a marcadores inflamatorios y respuestas autonómicas siendo reconocido que el grupo con RI responde mejor a este protocolo de entrenamiento quedando claro en los cambios delta pre y post en variables inflamatorias y de VFC (véase figura 1 y figura 2). De esa manera queda confirmado que el entrenamiento cardiovagal es una buena alternativa, pues ya la evidencia ha descrito como el entrenamiento de alta intensidad interválico es más eficaz en la pérdida de peso que el ejercicio aeróbico continuo (Cheema et al., 2015), es una herramienta para la disminución de la grasa visceral y, favorece una mayor sensibilidad a la insulina (Vosseler et al., 2022; Zhang et al., 2022).

Se reconoce como limitaciones de este estudio el pequeño tamaño de la muestra y la corta duración de la intervención. Un programa de entrenamiento más largo produciría información más consistente sobre la estabilidad de estas respuestas a este tipo de entrenamiento. Aunque existen grandes dificultades para mantener la adherencia a los programas de ejercicio en este tipo de participantes (obesos y sedentarios).

Conclusiones

Un entrenamiento cardiovagal para personas obesas con insulina resistencia o sin resistencia a la insulina puede producir una disminución de los marcadores inflamatorios y una mejor respuesta vagal. Asimismo, obesos con resistencia a la insulina mostraron tener un mayor beneficio a protocolo de entrenamiento cardiovagal que a obesos sin resistencia a la insulina.

Financiación

Este trabajo no ha recibido ningún tipo de financiación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Acosta B, A. M., Escalona O, M., Maiz G, A., Pollak C, F., & Leighton P, F. (2002). Determinación del índice de resistencia insulínica mediante HOMA en una población de la Región Metropolitana de Chile. *Revista Médica de Chile*, 130(11). doi.org/10.4067/s0034-98872002001100004
- Araújo, C. G., Castro, C. L., Franca, J. F., & Ramos, P. S. (2015). 4-Second Exercise Test: Reference Values for Ages 18-81 Years. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 104(5). <https://doi.org/10.5935/abc.20150026>
- Besnier, F., Labrunée, M., Pathak, A., Pavy-Le, T. A., Galès, C., Sénard, J. M., & Guiraud, T. (2017). Exercise training-induced modification in autonomic nervous system: An update for cardiac patients. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 60(1). doi.org/10.1016/j.rehab.2016.07.002
- Besnier, F., Labrunée, M., Richard, L., Faggianelli, F., Kerros, H., Soukarié, L., Bousquet, M., Garcia, J. L., Pathak, A., Gales, C., Guiraud, T., & Sénard, J. M. (2019). Short-term effects of a 3-week interval training program on heart rate variability in chronic heart failure. A randomised controlled trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 62(5). doi.org/10.1016/j.rehab.2019.06.013
- Cheema, B. S., Davies, T. B., Stewart, M., Papalia, S., & Atlantis, E. (2015). The feasibility and effectiveness of high-intensity boxing training versus moderate-intensity brisk walking in adults with abdominal obesity: a pilot study. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 7. doi.org/10.1186/2052-1847-7-3
- Cuevas, N., Salamanca, A., Rodríguez-Romero, N., Weisstaub, G., Campos, R. R., & Rodríguez-Núñez, I. (2023). Autonomic dysfunction during the rest-to-exercise transition in obese children. *Archivos de Cardiología de México*, 93(2), 256.
- Dávila Grisalez, A. A., Mazuera Quiceno, C. A., Carreño Herrera, A. L., & Henao Corrales, J. L. (2020). Efecto de un programa de entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad en población escolar femenina con sobrepeso u obesidad (Effect of a high intensity aerobic interval training program on an overweight or obese female school population). *Retos Digital*, 39, 453–458.
- Dias, R. M., Moraes, Í. A. P., Mtap, D., Dcgl, F., Amgg, F., Silveira, A. C., Barnabé, V., Fernandes, M., Martinelli, P. M., Monteiro, C. B. M., Garner, D. M., Abreu, L. C., & Silva, T. D. (2021). Influence of Chronic Exposure to Exercise on Heart Rate Variability in Children and Adolescents Affected by Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21). doi.org/10.3390/ijerph182111065
- Duarte, C., Castro, C., & Araujo, C. (2013). Treinamento para disfunção vagal cardíaca com repetições da transição repouso-exercício. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*, 18(06). doi.org/10.12820/rbafs.v.18n6p688
- Dun, Y., Smith, J. R., Liu, S., & Olson, T. P. (2019). High-Intensity Interval Training in Cardiac Rehabilitation. *Clinics in Geriatric Medicine*, 35(4), 469–487.
- Endalifer, M. L., & Diress, G. (2020). Epidemiology, Predisposing Factors, Biomarkers, and Prevention Mechanism of Obesity: A Systematic Review. *Journal of Obesity*, 2020, 6134362.
- Espinoza-Salinas, A., González-Jurado, J., Burdiles-Alvarez, A., Arenas-Sanchez, G., & Bobadilla, M. (2019). Efectos del entrenamiento cardiovascular en la respuesta autonómica en personas con sobrepeso (Effects of cardiovascular training on autonomic response in overweight people). *Retos Digital*, 38, 118–122.
- Izzatunnisa, N., Hakim, F. A., Putra, W. M. I., Rejeki, P. S., Herawati, L., Novida, H., Halim, S., & Pranoto, A. (2024). Moderate-Intensity exercise has most beneficial effect on inflammatory response in fructose-induced mice (*Mus musculus*). *Retos Digital*, 60, 552–560.
- Frühbeck, G., Catalán, V., Rodríguez, A., & Gómez-Ambrosi, J. (2018). Adiponectin-leptin ratio: A promising index to estimate adipose tissue dysfunction. Relation with obesity-associated cardiometabolic risk. *Adipocyte*, 7(1). doi.org/10.1080/21623945.2017.1402151
- González-Jurado, J. A., Suárez-Carmona, W., López, S., & Sánchez-Oliver, A. J. (2020). Changes in Lipoinflammation Markers in People with Obesity after a Concurrent Training Program: A Comparison between Men and Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17). doi.org/10.3390/ijerph17176168
- Hejazi, K., & Wong, A. (2023). Effects of exercise training on inflammatory and cardiometabolic health markers in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 63(2). doi.org/10.23736/S0022-4707.22.14103-4
- Johnston, E. K., & Abbott, R. D. (2023). Adipose Tissue Paracrine-, Autocrine-, and Matrix-Dependent Signaling during the Development and Progression of Obesity. *Cells*, 12(3). doi.org/10.3390/cells12030407
- Khalafi, M., & Symonds, M. E. (2020). The impact of high-intensity interval training on inflammatory markers in metabolic disorders: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(11). doi.org/10.1111/sms.13754
- Kurtoğlu, S., Hatipoğlu, N., Mazıçoğlu, M., Kendirici, M., Keskin, M., & Kondolot, M. (2010). Insulin resistance in obese children and adolescents: HOMA-IR cut-off levels in the prepubertal and pubertal periods. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*, 2(3). doi.org/10.4274/jcrpe.v2i3.100
- Lee, J. (2020). Influences of Cardiovascular Fitness and Body Fatness on the Risk of Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Health Promotion: AJHP*, 34(7). doi.org/10.1177/0890117120925347

- Merkow, R. P., Kaji, A. H., & Itani, K. M. F. (2021). Reporting Guidelines: The Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) Framework. *JAMA Surgery*, *156*(9), 877.
- Mohammadian Khonsari, N., Baygi, F., Tabatabaei-Malazy, O., Mohammadpoor Nami, S., Ehsani, A., Asadi, S., & Qorbani, M. (2023). Association of normal weight obesity phenotype with inflammatory markers: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Immunology*, *14*, 1044178.
- O'Donoghue, G., Blake, C., Cunningham, C., Lennon, O., & Perrotta, C. (2021). What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? A network meta-analysis. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, *22*(2). doi.org/10.1111/obr.13137
- Olateju, I. V., Opaleye-Enakhimion, T., Udeogu, J. E., Asuquo, J., Olaleye, K. T., Osa, E., & Oladunjoye, A. F. (2023). A systematic review on the effectiveness of diet and exercise in the management of obesity. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, *17*(4). doi.org/10.1016/j.dsx.2023.102759
- Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the Elite HRV Smartphone Application for Examining Heart Rate Variability in a Field-Based Setting. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, *31*(8). doi.org/10.1519/JSC.0000000000001841
- Quarti, T. F., Dell'Oro, R., Biffi, A., Seravalle, G., Corrao, G., Mancina, G., & Grassi, G. (2020). Sympathetic overdrive in the metabolic syndrome: meta-analysis of published studies. *Journal of Hypertension*, *38*(4). doi.org/10.1097/HJH.0000000000002288
- Raffin, J., Barthélémy, J. C., Dupré, C., Pichot, V., Berger, M., Féasson, L., Busso, T., Da Costa, A., Colvez, A., Montuy-Coquard, C., Bouvier, R., Bongue, B., Roche, F., & Hupin, D. (2019). Exercise Frequency Determines Heart Rate Variability Gains in Older People: A Meta-Analysis and Meta-Regression. *Sports Medicine*, *49*(5). doi.org/10.1007/s40279-019-01097-7
- Regina de Sousa, T., Gabriel da Silva Alexandrino, W., Souza, A., Faundez-Casanova, C., Jane dos Santos Pascoini, M., Andréia Mochi Awada, M., De Paula, R., Merchan Ferraz Grizzo, F., Oltramari, K., Westphal-Nardo, G., & Nardo Junior, N. (2024). Effects of physical activity in adults with severe obesity: a systematic review. *Retos Digital*, *53*, 671–680.
- Rossi, R. C., Vanderlei, L. C., Gonçalves, A. C., Vanderlei, F. M., Bernardo, A. F., Yamada, K. M., da Silva, N. T., & de Abreu, L. C. (2015). Impact of obesity on autonomic modulation, heart rate and blood pressure in obese young people. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, *193*. doi.org/10.1016/j.autneu.2015.07.424
- Rumbo-Rodríguez, L., Sánchez-SanSegundo, M., Ferrer-Cascales, R., García-D'Urso, N., Hurtado-Sánchez, J. A., & Zaragoza-Martí, A. (2021). Comparison of Body Scanner and Manual Anthropometric Measurements of Body Shape: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(12). doi.org/10.3390/ijerph18126213
- Sánchez-Otero, T., Tuimil, J. L., Boullosa, D., Varela-Sanz, A., & Iglesias-Soler, E. (2022). Active vs. passive recovery during an aerobic interval training session in well-trained runners. *European Journal of Applied Physiology*, *122*(5), 1281.
- Santos, C. C., Diniz, T. A., Inoue, D. S., Gerosa-Neto, J., Panissa, V. L. G., Pimentel, G. D., Campos, E. Z., Hofmann, P., & Lira, F. S. (2016). Influence to high-intensity intermittent and moderate-intensity continuous exercise on indices of cardio-inflammatory health in men. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation: Official Journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, *12*(6), 618.
- Saxton, S. N., Clark, B. J., Withers, S. B., Eringa, E. C., & Heagerty, A. M. (2019). Mechanistic Links Between Obesity, Diabetes, and Blood Pressure: Role of Perivascular Adipose Tissue. *Physiological Reviews*, *99*(4). doi.org/10.1152/physrev.00034.2018
- Saxton, S. N., Withers, S. B., & Heagerty, A. M. (2019). Emerging Roles of Sympathetic Nerves and Inflammation in Perivascular Adipose Tissue. *Cardiovascular Drugs and Therapy / Sponsored by the International Society of Cardiovascular Pharmacotherapy*, *33*(2), 245.
- Schlaich, M., Straznicky, N., Lambert, E., & Lambert, G. (2015). Metabolic syndrome: a sympathetic disease? *The Lancet. Diabetes & Endocrinology*, *3*(2). doi.org/10.1016/S2213-8587(14)70033-6
- Sember, V., Meh, K., Sorić, M., Starc, G., Rocha, P., & Jurak, G. (2020). Validity and Reliability of International Physical Activity Questionnaires for Adults across EU Countries: Systematic Review and Meta Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(19). doi.org/10.3390/ijerph17197161
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, *5*, 290215.
- Silva, L. R. B., Gentil, P. R. V., Beltrame, T., Basso Filho, M. A., Alves, F. M., Silva, M. S., Pedrino, G. R., Ramirez-Campillo, R., Coswig, V., & Rebelo, A. C. S. (2019). Exponential model for analysis of heart rate responses and autonomic cardiac modulation during different intensities of physical exercise. *Royal Society Open Science*, *6*(10), 190639.
- Sirico, F., Bianco, A., D'Alicandro, G., Castaldo, C., Montagnani, S., Spera, R., Di Meglio, F., & Nurzynska, D. (2018). Effects of Physical Exercise on Adiponectin, Leptin, and Inflammatory Markers in Childhood Obesity: Systematic Review and Meta-Analysis. *Childhood Obesity*, *14*(4). doi.org/10.1089/chi.2017.0269

- Strüven, A., Holzapfel, C., Stremmel, C., & Brunner, S. (2021). Obesity, Nutrition and Heart Rate Variability. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(8). doi.org/10.3390/ijms22084215
- Vosseler, A., Machann, J., Fritsche, L., Prystupa, K., Kübler, C., Häring, H. U., Birkenfeld, A. L., Stefan, N., Peter, A., Fritsche, A., Wagner, R., & Heni, M. (2022). Interscapular fat is associated with impaired glucose tolerance and insulin resistance independent of visceral fat mass. *Obesity*, 30(11). doi.org/10.1002/oby.23554
- Wang, T., & He, C. (2018). Pro-inflammatory cytokines: The link between obesity and osteoarthritis. *Cytokine & Growth Factor Reviews*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2018.10.002>
- Wang, S., Zhou, H., Zhao, C., & He, H. (2022). Effect of Exercise Training on Body Composition and Inflammatory Cytokine Levels in Overweight and Obese Individuals: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Frontiers in Immunology*, 13. doi.org/10.3389/fimmu.2022.921085
- Wewege, M., van den Berg, R., Ward, R. E., & Keech, A. (2017). The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 18(6). doi.org/10.1111/obr.12532
- White, D. W., & Raven, P. B. (2014). Autonomic neural control of heart rate during dynamic exercise: revisited. *The Journal of Physiology*, 592(12), 2491–2500.
- Wu, H., & Ballantyne, C. M. (2017). Skeletal muscle inflammation and insulin resistance in obesity. *The Journal of Clinical Investigation*, 127(1), 43–54.
- Zhang, S., Huang, Y.-P., Li, J., Wang, W.-H., Zhang, M.-Y., Wang, X.-C., Lin, J.-N., & Li, C.-J. (2022). The Visceral-Fat-Area-to-Hip-Circumference Ratio as a Predictor for Insulin Resistance in a Chinese Population with Type 2 Diabetes. *Obesity Facts*, 15(4), 621–628.

Datos de los/as autores/as:

Alexis Espinoza-Salinas	alespinozasalinas@gmail.com	Autor/a
Luis Peiret-Villacura	lpeiret@santotomas.cl	Autor/a
Igor Cigarroa-Cuevas	igorciga@gmail.com	Autor/a
Israel Podestá	israpode@gmail.com	Autor/a
Sergio Acuña-Vera	sergio.acuna.v@gmail.com	Autor/a
Giovanny Arenas-Sanchez	garenas2@santotomas.cl	Autor/a
Carlos Cristi-Montero	carlos.cristi@pv.cl	Autor/a
Jose González-Jurado	jonzalez@upo.es	Autor/a