



Universitat de Lleida

Adaptación al esfuerzo en adultos con riesgo cardiometabólico: Efectos de un programa de intervención de hábitos saludables

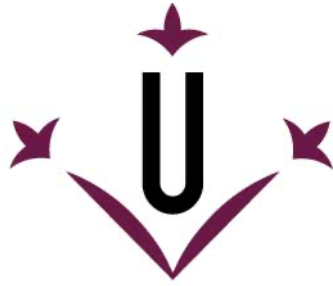
Leonardo Machado da Silva

<http://hdl.handle.net/10803/690461>



Adaptación al esfuerzo en adultos con riesgo cardiometabólico: Efectos de un programa de intervención de hábitos saludables està subjecte a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 4.0 No adaptada de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

(c) 2023, Leonardo Machado da Silva



Universitat de Lleida

TESIS DOCTORAL

**Adaptación al esfuerzo en adultos con riesgo
cardiometabólico: Efectos de un programa de
intervención de hábitos saludables.**

Leonardo Machado da Silva

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad de
Lleida Programa de Doctorado en Actividad Física y Deporte

Director/a

Dra. Assumpta Ensenyat Solé

Dr. Alfonso Nespereira Blanco

Tutor/a

Dra. Assumpta Ensenyat Solé

2023

A mi esposa, Sabrine y a mi hija Emília.

Su apoyo incondicional y su paciencia durante todo el proceso de mi tesis doctoral ha sido fundamental. Me han brindado su amor y comprensión en los momentos más difíciles y han sido mi fuente de motivación en los momentos de duda. Gracias por entender mis ausencias, por escucharme cuando necesitaba y por celebrar mis logros como si fueran propios. Su presencia ha hecho más llevadero este camino y ha sido una parte fundamental de mi éxito. Este logro no sería posible sin ustedes. Por eso, quiero dedicarles y asegurarles que siempre estarán en mi corazón.

Con todo mi amor y gratitud.

Esta tesis doctoral fue realizada con el apoyo y financiación del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña (INEFC), Universidad de Lleida (UdL) y del grupo de investigación Complex System Research Group (SGR 975), en el marco del proyecto “Estructura temporal del moviment i adaptació ergoespiromètrica i metabòlica: eficàcia del programa Belluga’t”, con código 2017 PINEF 00001, del que la Dr^a Assumpta Ensenyat Solé es la investigadora principal. Leonardo Machado da Silva fue beneficiario de un contrato en categoría de investigador predoctoral vinculado a las ayudas para la contratación de personal investigador en el ámbito de la Educación Física, la actividad física, el deporte y de sus ciencias aplicadas, destinadas a INEFC durante 3 años.

AGRADECIMIENTOS

Sabrine, quiero dedicar este espacio para expresar mi más sincero respecto por el coraje y la determinación que has demostrado al lanzarte en la aventura de ir a vivir en otro país en busca de nuestros sueños. Sé que no ha sido fácil para ti y que has tenido que sacrificar mucho para ello, pero tu valentía y perseverancia me han inspirado y me han llenado de orgullo. Gracias por ser una fuente constante de motivación y por ser mi apoyo incondicional en todo momento. Tu determinación y tu dedicación me han demostrado que no hay nada imposible si se lucha y se persigue sin mirar atrás. Me has dado y enseñado el verdadero sentido del amor, nuestra hija.

A mi familia, gracias por su amor y apoyo durante todo este tiempo que hemos estado separados. A pesar de la distancia, ustedes han estado presentes en mi vida de muchas maneras y han sido una fuente constante de motivación. Especialmente a mis sobrinos Roberto y Murilo, muchas gracias por comprender que mi ausencia y mi distancia fue necesaria, espero tener la oportunidad de retribuirles todo el tiempo perdido.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director Alfonso Nespereira Blanco y especialmente a mi directora y tutora Assumpta Ensenyat Solé, por su dedicación, guía, apoyo y paciencia durante todo mi proceso de formación. Gracias a su orientación, he aprendido mucho más de lo que imaginé y he adquirido habilidades que me serán útiles en mi carrera profesional. Su experiencia, rigor y conocimientos me han inspirado y han ampliado mi perspectiva sobre la investigación. Quiero que sepáis que valoro enormemente su dedicación y el tiempo que ha invertido en mí.

Gracias a todo el personal docente, administrativo y de servicios del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña, centro Lleida. Fui recibido y tratado todos esos años como uno de la familia, me sentí en todo momento cómo si estuviera en mi casa, en mi hogar. A los compañeros de doctorado quién compartimos soporte mutuo y nos hemos motivado a seguir.

Al grupo de investigación en sistemas complejos que me mostró nuevas perspectivas.
Al grupo GIAM que me permitió colaborar y aprender a investigar en equipo.

Muchas gracias a las personas, participantes del programa Belluga't de CAP a peus, me orgullece saber que todos los días que pasamos juntos, durante las sesiones de entrenamiento y evaluaciones en el laboratorio, sirvieran para abrir los horizontes en busca de una vida más activa y saludable.

Al gimnasio Ekke, institución colaboradora para la realización del programa. En especial a Pep Castarlenas, que posteriormente me dio la oportunidad de trabajo que me mantuvo económicamente, e hizo posible dar seguimiento a mis estudios de doctorado. A los entonces colegas de trabajo, que formaron mi segunda familia en Lleida.

A Biel, Joan y Sergi muchas gracias por acogernos en vuestra casa, una pareja de doctorandos recién casados y sin techo, recién llegados del otro lado del océano, con poco dinero y vocabulario. Fueron meses inolvidables para consolidar una amistad verdadera.

Al INEFC- Lleida, quien me otorgó una beca predoctoral de la cual ha permitido dedicarme a tiempo completo a la investigación durante 3 años de mi formación.

Han sido años de arduo trabajo, sacrificio y dedicación, pero finalmente puedo decir con orgullo que lo he logrado. Este logro no solo es mío, sino también de cada una de esas personas citadas anteriormente y muchas otras. Me alegra saber que este es solo el comienzo de una larga carrera profesional y estoy emocionado por lo que vendrá. Espero poder retribuirles todo lo que han hecho por mí.

A todos aquellos que de algún lugar me guían y me protegen. Aunque no siempre puedo verlos o sentir su presencia, sé que están ahí, apoyándome y guiándome en mi camino. Espero poder honrar su legado a través de mis acciones y logros, y hacerles sentir orgullosos de mí.

ABREVIATURAS

ACSM: American College of Sports Medicine
AF: Actividad física
AHA: American Heart Association
AT: Umbral Anaeróbico
FR: Frecuencia respiratoria
CO₂: Dióxido de carbono
CRC: Coordinación cardiorrespiratoria
CRF: Aptitud Cardiorrespiratoria
EAC: entrenamiento aeróbico continuo
EAI: entrenamiento aeróbico en intervalos
ECV: Enfermedad cardiovascular
ECG: Electrocardiograma
EPOC: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
FC: Frecuencia cardiaca
FC_{basal}: Frecuencia cardiaca basal
FC_{max}: Frecuencia cardiaca máxima
FC_{max}teórica: Frecuencia cardiaca máxima teórica
FR: Frecuencia respiratoria
GC: Grupo Control
HTA: Hipertensión arterial
IMC: índice de masa corporal
Kcal: Kilocalorías
Kpm: Kilopondímetros
bpm: beats por minuto
m: Metro
MAPA: Monitorización ambulatoria de la presión arterial
MET: Equivalente metabólico
MetSSS: índice de gravedad del Síndrome Metabólico de Wiley
mg: Miligramos
min: Minutos
ml: Mililitros
mm: Milímetros
mmHg: Milímetros de mercurio
mmol: Milimoles
ms: Milisegundos
O₂: Oxígeno
OUES: pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno
PA: Presión arterial
PAS: Presión arterial sistólica
PAD: Presión arterial diastólica
PAM: Presión arterial media
PCA: Análisis de componentes principales
PE: Prueba de esfuerzo

pERG: Prueba ergoespirométrica
PETO₂: Presión espiratoria de oxígeno
PETCO₂: Presión espiratoria de dióxido de carbono
RER: Cociente o razón de intercambio respiratorio
RCP: Punto de compensación respiratoria
RPE: Escala de esfuerzo percibido
rpm: Revoluciones por minuto
s: Segundos
VE: Ventilación
VE/VO₂: Equivalente respiratorio de oxígeno
VE/VCO₂: Equivalente respiratorio de dióxido de carbono
VE/VCO₂SLOPE: pendiente de eficiencia ventilatoria
VC: Volumen corriente
VCO₂: Producción de dióxido de carbono
VO₂: Consumo de oxígeno
VO₂MAX: Consumo máximo de oxígeno
VO₂PICO: Consumo de oxígeno pico
VO₂RCP: consumo de oxígeno en el punto de compensación respiratoria
VT: Umbral ventilatorio
Watts: Vatios

RESUMEN

Los factores asociados a estilos de vida poco saludables son modificables y podrían revertirse mediante intervenciones centradas en el cambio del comportamiento. El entrenamiento aeróbico continuo (EAC), tradicionalmente realizado a intensidades moderadas puede ser una opción segura. Sin embargo, desde hace algunos años, ha habido un interés creciente en la aplicación del entrenamiento aeróbico en intervalos (EAI). El nivel de aptitud cardiorrespiratoria (CRF) se ha identificado como un factor importante de predicción de la mortalidad. Además, un nivel bajo de CRF multiplica el riesgo de padecer de síndrome metabólico y sus factores de riesgo, mientras que una buena CRF lo disminuye. El objetivo de esta tesis fue analizar la respuesta fisiológica al esfuerzo físico en pruebas ergoespirométricas (pERG) en personas adultas que presentan factores de riesgo cardiometabólico. El estudio consistió en un ensayo clínico controlado aleatorio de 40 semanas de duración; 16 semanas programa de ejercicio físico semisupervisado y 24 semanas de seguimiento. Participaron 61 adultos poco activos (23 hombres y 38 mujeres; $M = 44.6$ años, $DE = 4.6$) con al menos un factor de riesgo cardiometabólico. Fueron aleatorizados en uno de los tres grupos de estudio: (1) entrenamiento aeróbico en intervalos y asesoramiento (EAI) ($n = 20$); (2) entrenamiento aeróbico continuo y asesoramiento (EAC) ($n = 23$); o (3) exclusivamente asesoramiento (GC) ($n = 18$). Se evaluó la CRF, en términos de consumo máximo de oxígeno (VO_{2PICO}), consumo de oxígeno en el punto de compensación respiratoria (VO_{2RCP}), pendiente de eficiencia ventilatoria (VE/VCO_{2SLOPE}), pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno (OUES), durante las pERG al inicio, después de la intervención y en el seguimiento. Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) de las series temporales de las variables frecuencia cardíaca (FC), ventilación (VE), presión espiratoria de dióxido de carbono (P_{ETCO_2}) y presión espiratoria de oxígeno (P_{ETO_2}) obtenidas durante las pERG. Todos los programas de intervención indujeron cambios significativos comparables en la CRF, pero los cambios en el VO_{2PICO} difirieron en función de si los participantes podían o no alcanzar criterios máximos al inicio. Aquellos que no alcanzaron los criterios máximos, el VO_{2PICO} aumentó significativamente. Todos los programas también indujeron aumentos significativos comparables no persistentes del VO_{2VT} , ningún cambio en la VE/VCO_{2SLOPE} y mejoras persistentes de OUES. Los tres programas obtuvieron una influencia positiva sobre la coordinación cardiorrespiratoria (CRC) con una disminución del número de componentes principales (CP) al finalizar la intervención, aumentando el número de personas en las que un solo CP puede explicar la adaptación fisiológica al esfuerzo. La intervención de EAI semisupervisada junto con el asesoramiento sobre el estilo de vida tuvo efectos positivos sobre la adaptación fisiológica al esfuerzo y la aptitud cardiorrespiratoria, pero no difirió sustancialmente del EAC o el GC.

Palabras clave: Prueba ergoespirométrica; Aptitud cardiorrespiratoria; Entrenamiento aeróbico en intervalos; Análisis de componentes principales; Riesgo cardiometabólico.

RESUM

Els factors associats a estils de vida poc saludables són modificables i podrien revertir-se mitjançant intervencions centrades en el canvi del comportament. L'entrenament aeròbic continu (EAC), tradicionalment realitzat a intensitats moderades, pot ser una opció segura. No obstant això, des de fa alguns anys, hi ha hagut un interès creixent en l'aplicació de l'entrenament aeròbic en intervals (EAI). El nivell d'aptitud cardiorespiratòria (CRF) s'ha identificat com un factor important de predicció de la mortalitat. A més, un nivell baix de CRF multiplica el risc de patir síndrome metabòlica i els seus factors de risc, mentre que una bona CRF el disminueix. L'objectiu d'aquesta tesi va ser analitzar la resposta fisiològica a l'esforç físic en proves ergo espiromètriques (pERG) en persones adultes que presenten factors de risc cardiometabòlic. L'estudi va consistir en un assaig clínic controlat aleatori de 40 setmanes de durada; 16 setmanes programa d'exercici físic semi supervisat i 24 setmanes de seguiment. La mostra va estar composta per 61 adults poc actius (23 homes i 38 dones; $M = 44.6$ anys, $DE = 4.6$) amb almenys un factor de risc cardiometabòlic. Els participants van ser dividits en tres grups de manera aleatòria: (1) entrenament aeròbic en intervals i assessorament (EAI) ($n=20$); (2) entrenament aeròbic continu i assessorament (EAC) ($n = 23$); o (3) exclusivament assessorament (GC) ($n = 18$). Es va avaluar la CRF, en termes de consum màxim d'oxigen (VO_{2PIC}), consum d'oxigen al punt de compensació respiratòria (VO_{2RCP}), índex d'eficiència ventilatòria (VE/VCO_{2SLOPE}), pendent d'eficiència de consum d'oxigen (OUES), durant les pERG a l'inici, després de la intervenció i el seguiment. Es va realitzar una anàlisi de components principals (PCA) de les sèries temporals de les variables freqüència cardíaca (FC), ventilació (VE), pressió expiratòria de diòxid de carboni (P_{ETCO_2}) i pressió expiratòria d'oxigen (P_{ETO_2}) obtingudes durant les PERG. Tots els programes d'intervenció van induir canvis significatius comparables a la CRF, però els canvis al VO_{2PICO} van diferir en funció de si els participants podien o no aconseguir criteris màxims a l'inici. Aquells que no van obtenir els criteris màxims, el VO_{2PICO} va augmentar significativament. Tots els programes també van induir augments significatius comparables no persistents del VO_{2VT} , cap canvi en la VE/VCO_{2SLOPE} i millores persistents de OUES. Els tres programes van assolir una influència positiva sobre la coordinació cardiorespiratòria (CRC) amb una disminució del nombre de components principals (CP) en finalitzar la intervenció, augmentant el nombre de persones en les quals un sol CP pot explicar l'adaptació fisiològica a l'esforç. La intervenció d'EAI semi supervisada juntament amb l'assessorament sobre l'estil de vida va tenir efectes positius sobre l'adaptació fisiològica a l'esforç i l'aptitud cardiorespiratòria, però no va diferir substancialment del EAC o el GC.

Paraules clau: Prova ergo espiromètrica; Aptitud cardiorespiratòria; Entrenament aeròbic en intervals; Anàlisi de components principals; Risc cardiometabòlic.

ABSTRACT

Factors associated with unhealthy lifestyles are modifiable and could be reversed by interventions focused on behavioral change. Continuous aerobic training (EAC), traditionally performed at moderate intensities can be a safe option. However, for some years now, there has been a growing interest in the application of aerobic interval training (EAI). Cardiorespiratory fitness (CRF) level has been identified as an important predictor of mortality. In addition, a low CRF level multiplies the risk of metabolic syndrome and its risk factors, while a good CRF decreases it. The aim of this thesis was to analyze the physiological response to physical effort in Cardiorespiratory fitness test (pERG) in adults with cardiometabolic risk factors. The study consisted of a randomized controlled clinical trial of 40 weeks duration, 16 weeks of semi-supervised physical exercise program and 24 weeks of follow-up. The sample consisted of 61 active adults (23 men and 38 women; $M = 44.6$ years, $SD = 4.6$) with at least one cardiometabolic risk factor. Participants were randomly divided into three groups: (1) aerobic interval training plus lifestyle counselling (EAI) ($n = 20$); (2) continuous aerobic training plus lifestyle counselling (EAC) ($n = 23$); or (3) lifestyle counselling (GC) ($n = 18$). CRF, in terms of peak oxygen uptake (VO_{2PEAK}), oxygen uptake at the respiratory compensation point (VO_{2RCP}), ventilatory efficiency index (VE/VCO_{2SLOPE}), oxygen uptake efficiency slope (OUES), was assessed during pERGs at baseline, after the intervention and at follow-up. Principal component analysis (PCA) was performed on the time series of the variables heart rate (HR), ventilation (VE), expiratory pressure of carbon dioxide (P_{ETCO_2}) and expiratory pressure of oxygen (P_{ETO_2}) obtained during the pERGs. All intervention programs induced comparable significant changes in CRF, but changes in VO_{2PEAK} differed depending on whether or not participants were able to reach maximal criteria at baseline. For those who did not reach maximal criteria, VO_{2PEAK} increased significantly. All programs also induced comparable non-persistent significant increases in VO_{2VT} , no change in VE/VCO_{2SLOPE} and persistent improvements in OUES. All three programs obtained a positive influence on cardiorespiratory coordination (CRC) with a decrease in the number of principal components (PC) at the end of the intervention, increasing the number of individuals in whom a single PC can explain physiological adaptation to the effort. The semi-supervised EAI intervention alongside lifestyle counseling had positive effects on physiological adaptation to effort and cardiorespiratory fitness but, did not differ substantially from EAC or GC.

Keywords: Cardiorespiratory fitness test; Interval aerobic training; Principal component analysis; Cardiometabolic risk factor.

SUMARIO

AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN	11
RESUM	13
ABSTRACT	15
SUMARIO	17
ÍNDICE DE TABLAS	20
ÍNDICE DE FIGURAS	22
APÉNDICES	24
PREÁMBULO	26
CAPITULO I – INTRODUCCIÓN	28
1. FACTORES DE RIESGO CARDIOMETABÓLICO Y ENTRENAMIENTO AERÓBICO EN INTERVALOS	
28	
<i>Efectos del EAI sobre los factores de riesgo cardiometabólico</i>	30
<i>Índice global de riesgo metabólico</i>	35
<i>Otras variables</i>	36
<i>Condición física</i>	36
2. PRUEBAS ERGOESPIROMÉTRICAS (pERG)	40
<i>Características metodológicas</i>	41
<i>Interpretación de las pERG</i>	46
3. COORDINACIÓN CARDIORESPIRATORIA	62
CAPITULO II – OBJETIVOS	67
1. OBJETIVO GENERAL	67
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	67

3.	HIPÓTESIS	68
CAPITULO III – METODOLOGIA		69
1.	DISEÑO DEL ESTUDIO	69
2.	PARTICIPANTES	69
	<i>Criterios de inclusión</i>	70
	<i>Criterio de exclusión</i>	70
	<i>Inscripción, selección y asignación</i>	71
3.	INTERVENCIÓN	73
	<i>Programa de asesoramiento</i>	73
	<i>Programa de entrenamiento físico semi-supervisado</i>	74
	<i>Cumplimiento del programa</i>	75
	<i>Efectos de la intervención - Calendario de evaluaciones</i>	77
4.	PROTOCOLO DE LA PERG	78
5.	VARIABLES OBTENIDAS EN LAS PERG	81
	<i>Valores máximos y submáximos</i>	81
	<i>Coordinación cardiorrespiratoria (CRC)</i>	84
6.	RIESGO METABÓLICO Y ESTILO DE VIDA	85
	<i>Índice de riesgo metabólico</i>	85
	<i>Hábitos de actividad física</i>	85
	<i>Hábitos de alimentación</i>	86
	<i>Características demográficas</i>	86
7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	86
8.	CRITERIOS ÉTICOS	88
CAPITULO IV – RESULTADOS		90
1.	PARTICIPANTES	90
2.	DESARROLLO DE LA INTERVENCIÓN	92
	<i>Riesgo Cardiometabólico</i>	92
3.	ACTIVIDAD FÍSICA, SEDENTARISMO Y HÁBITOS ALIMENTARIOS	97

4.	DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE ESFUERZO	98
5.	ESCENARIO A	100
6.	ESCENARIO B	108
7.	ESCENARIO C	114
8.	COORDINACIÓN CARDIORRESPIRATORIA	117
8.1	<i>Número de componentes principales</i>	117
8.2	<i>Autovalores (eigenvalue) de los componentes principales</i>	121
8.3	<i>Carga de las variables en el CP.</i>	131
CAPITULO V- DISCUSIÓN		137
CAPITULO VI- CONCLUSIONES		151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		152
APÉNDICES		171
	APÉNDICE A	173
	APÉNDICE B	175
	APÉNDICE C	177

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ESTUDIOS DE REFERENCIA QUE COMPARAN EL EFECTO DEL EAI Y EAC EN FACTORES DE RIESGO CARDIOMETABÓLICO. _____	34
TABLA 2 ESTUDIOS DE REFERENCIA QUE COMPARAN EL EFECTO DEL EAI Y EAC EN LA CRF. _____	39
TABLA 3 ERGÓMETROS: CICLOERGÓMETRO VERSUS TAPIZ. _____	43
TABLA 4 CRITERIOS PARA LA DETENCIÓN PREMATURA DE LAS PERG. _____	45
TABLA 5 ESTUDIOS QUE HAN APLICADO EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES EN PRUEBAS ERGOESPIROMÉTRICAS. _____	65
TABLA 6 DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO SEGÚN EL GRUPO DE INTERVENCIÓN. _____	76
TABLA 7 <i>VARIABLES OBTENIDAS EN LAS PERG.</i> _____	83
TABLA 8 ÍNDICE DE RIESGO METABÓLICO METSSS, FACTORES DE RIESGO CARDIOMETABÓLICO Y ESTILO DE VIDA AL INICIO (T0), DESPUÉS (T1) Y A LAS 24 SEMANAS DE FINALIZAR LA INTERVENCIÓN (T2) (N = 61). _____	96
TABLA 9 VALORES PICO, VALORES A NIVEL DEL RCP Y ÍNDICES DERIVADOS OBTENIDOS EN LAS PERG REALIZADAS AL INICIO (T0), DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN (T1), Y A LAS 24 SEMANAS DE SEGUIMIENTO (T2) PARA EL ESCENARIO A (N = 43). _____	107
TABLA 10 VALORES PICO, VALORES A NIVEL DEL RCP Y ÍNDICES DERIVADOS OBTENIDOS EN LAS PERG REALIZADAS AL INICIO (T0), DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN (T1), Y A LAS 24 SEMANAS DE SEGUIMIENTO (T2) PARA EL ESCENARIO B (N = 11). _____	113
TABLA 11 VALORES PICO, VALORES A NIVEL DEL RCP Y ÍNDICES DERIVADOS OBTENIDOS EN LAS PERG REALIZADAS AL INICIO (T0), DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN (T1), Y A LAS 24 SEMANAS DE SEGUIMIENTO (T2) PARA EL ESCENARIO C (N = 6). _____	116
TABLA 12 DISTRIBUCIÓN DE PERSONAS CON UN CP O DOS CPs EN LA PERG EN LOS DISTINTOS MOMENTOS (T0, T1 Y T2) DEL ESTUDIO. _____	117
TABLA 13 AUTOVALORES PARA EL CP ₁ Y CP ₂ SEGÚN EL GRUPO DE ESTUDIO Y MOMENTO. _____	129
TABLA 14 AUTOVALORES PARA EL CP ₁ Y CP ₂ , SEGÚN EL ESCENARIO, GRUPO DE ESTUDIO Y MOMENTO. _____	130
TABLA 15 EFECTO DEL PROGRAMA EN LA CARGA DE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN EL CP ₁ DE TODOS LOS PARTICIPANTES. _____	132
TABLA 16 EFECTO DEL PROGRAMA EN LA CARGA DE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN EL CP ₂ DE TODOS LOS PARTICIPANTES. _____	133

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 pERG REALIZADA EN CICLOERGÓMETRO.	42
FIGURA 2 EVOLUCIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS VARIABLES ERGOESPIROMÉTRICAS Y CARDIOVASCULARES DURANTE UNA PRUEBA PROGRESIVA.	47
FIGURA 3 RELACIÓN ENTRE EL VO_2 Y LA CARGA DE TRABAJO	49
FIGURA 4 V_{SLOPE} ; RELACIÓN ENTRE EL VO_2 Y EL VCO_2 EN UNA PRUEBA ERGOESPIROMÉTRICA	51
FIGURA 5 EVOLUCIÓN DE LA VENTILACIÓN DURANTE UN ESFUERZO PROGRESIVO MÁXIMO.	52
FIGURA 6 PENDIENTE DE LA RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN DE CO_2 Y LA VENTILACIÓN.	55
FIGURA 7 PENDIENTE DE LA EFICIENCIA DE LA CAPTACIÓN DE OXÍGENO (OUES).	56
FIGURA 8 RELACIÓN DE LA FC CON EL CONSUMO DE OXÍGENO.	58
FIGURA 9 RELACIÓN ENTRE PRESIÓN ARTERIAL Y LA CARGA DE TRABAJO.	60
FIGURA 10 DISTRIBUCIÓN DE PARTICIPANTES EN GRUPO DE ESTUDIO.	72
FIGURA 11 DISEÑO DEL FLUJO DE LA INTERVENCIÓN.	77
FIGURA 12 PROTOCOLO DE LA pERG EN CICLOERGÓMETRO.	79
FIGURA 1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PARTICIPANTES.	91
FIGURA 2 NÚMERO DE PARTICIPANTES CON FACTORES DE RIESGO CARDIOMETABÓLICO.	93
FIGURA 15 DINÁMICA DE ANÁLISIS DE ACUERDO CON EL MOTIVO DE FINALIZACIÓN DE LA PERG.	99
FIGURA 16 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO A, ENTRE T0 Y T1 (PANEL A), Y ENTRE T0 Y T2 (PANEL B) PARA VO_{2PICO} .	102
FIGURA 17 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO A, ENTRE T0 Y T1 (PANEL C), Y ENTRE T0 Y T2 (PANEL D) PARA LA PENDIENTE VE/VCO_2 .	104
FIGURA 18 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO A, ENTRE T0 Y T1 (PANEL E), Y ENTRE T0 Y T2 (PANEL F) PARA EL OUES.	105
FIGURA 19 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO B Y C, ENTRE T0 Y T1 (PANEL A), Y ENTRE T0 Y T2 (PANEL B) PARA VO_{2PICO} .	109
FIGURA 20 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO B Y C, ENTRE T0 Y T1 (PANEL C), Y ENTRE T0 Y T2 (PANEL D) PARA LA PENDIENTE VE/VCO_2 .	111
FIGURA 21 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO B Y C, ENTRE T0 Y T1 (PANEL E), Y ENTRE T0 Y T2 (PANEL F) PARA EL OUES.	112
FIGURA 22 PORCENTAJE DE PERSONAS CON 1 CP O 2 CPs SEGÚN EL ESCENARIO.	118
FIGURA 23 PORCENTAJE DE PERSONAS CON 1 CP O 2 CPs SEGÚN EL GRUPO.	119
FIGURA 24 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA EL AUTOVALOR DEL CP_1 .	122
FIGURA 25 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA EL AUTOVALOR DEL CP_2 .	123

FIGURA 26 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO A, ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA EL AUTOVALOR DEL CP ₁ .	125
FIGURA 27 CAMBIOS INDIVIDUALES DE TODOS LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO A, ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA EL AUTOVALOR DEL CP ₂ .	126
FIGURA 28 CAMBIOS INDIVIDUALES LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO B Y C, ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA EL AUTOVALOR DEL CP ₁ .	127
FIGURA 29 CAMBIOS INDIVIDUALES LOS PARTICIPANTES DEL ESCENARIO B Y C, ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA EL AUTOVALOR DEL CP ₂ .	128
FIGURA 30 CAMBIOS INDIVIDUALES ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA LA CARGA DE LAS VARIABLES FC, VE, P _{ET} CO ₂ Y P _{ET} O ₂ EN EL CP ₁ DE TODOS LOS PARTICIPANTES.	134
FIGURA 31 CAMBIOS INDIVIDUALES ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA LA CARGA DE LAS VARIABLES FC, VE, P _{ET} CO ₂ Y P _{ET} O ₂ EN EL CP ₁ DEL ESCENARIO A.	135
FIGURA 32 CAMBIOS INDIVIDUALES ENTRE T0 Y T1, Y ENTRE T0 Y T2 PARA LA CARGA DE LAS VARIABLES FC, VE, P _{ET} CO ₂ Y P _{ET} O ₂ EN EL CP ₁ DEL ESCENARIO B Y C.	136

APÉNDICES

APÉNDICE A

Consentimiento informado para participación en el estudio.

APÉNDICE B

Hoja de recogida de datos complementares de las pERGs.

APÉNDICE C

Informe del comité de ética de investigación clínica.

PREÁMBULO

La presente tesis doctoral representa el resultado de varios años de investigación en el campo de las ciencias de la actividad física y del deporte para la salud, con el objetivo de profundizar en el conocimiento y entender mejor los aspectos fundamentales que conforman este ámbito. Este trabajo es el resultado de una dedicación constante y un esfuerzo riguroso, que ha permitido identificar los problemas clave, analizar los datos y las teorías disponibles y proponer soluciones innovadoras.

Esta tesis doctoral se estructura en capítulos que abordan diferentes aspectos del tema de estudio. En el primer capítulo se introduce el contexto en el que se enmarca la investigación y se presenta el problema que se aborda. Se revisa la literatura relevante para contextualizar la investigación y presentar las teorías existentes en el ámbito de estudio. En el segundo capítulo se describe la metodología utilizada para llevar a cabo el estudio empírico y se presenta el diseño de la investigación. En el tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos y se analizan de forma crítica. Finalmente, en el cuarto capítulo se discuten los resultados obtenidos, se destacan las aportaciones más relevantes y se proponen posibles líneas de investigación futura.

El ejercicio físico tiene un papel fundamental en la prevención y el tratamiento del riesgo cardiometabólico, los factores de riesgo aumentan la probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares, metabólicas y otros problemas de salud, que sumadas se caracteriza cómo el síndrome metabólico. Los cambios en el estilo de vida, como la pérdida de peso, la dieta saludable y el ejercicio físico regular, son importantes en ese sentido.

Existen varios métodos y estrategias de entrenamiento físico que pueden aportar beneficios para la salud, tanto a nivel físico como mental. Es importante destacar que todos estos métodos de entrenamiento pueden ser beneficiosos para la salud, pero cada uno tiene

sus fortalezas y debilidades. Por lo tanto, es importante elegir el método que mejor se adapte a las necesidades individuales y los objetivos específicos.

En el caso de esta tesis doctoral, personas adultas que presentaron factores de riesgo cardiometabólico fueron sometidas a un programa de intervención en un entorno real, con entrenamiento aeróbico en intervalos semi-supervisado y asesoramiento, y comparadas con otras que realizaron entrenamiento aeróbico continuo más asesoramiento o bien solamente asesoramiento.

Para comparar la efectividad de las diferentes propuestas de intervención fueron registrados datos durante una prueba de esfuerzo progresiva y máxima, antes del inicio, al acabar la fase semi-supervisada de ejercicios (16 semanas) y a las 24 semanas de seguimiento de sesiones autoadministradas.

El objetivo principal fue analizar el comportamiento de los parámetros fisiológicos obtenidos en las diferentes pruebas. Se buscó entender los patrones y relaciones en los datos, complementar lo tradicionalmente utilizado con una visión novedosa que pueda proporcionar información adicional y perspectivas diferentes sobre el tema. La combinación de diferentes enfoques puede ayudar a obtener una comprensión más completa y profunda y de esa manera aportar un pequeño avance en ese sentido.

Como autor de esa tesis doctoral, me complace haber podido construir y aportar nuevo conocimiento en mi área de estudio. A través de esa investigación, he tenido la oportunidad de profundizar en un tema específico y explorar nuevas perspectivas, lo que ha enriquecido mi comprensión y conocimiento en el campo, aparte del enriquecimiento profesional y personal.

Espero profundamente pueda ser de utilidad para otros investigadores, estudiantes y profesionales interesados en ese tema, y que mi trabajo pueda servir como una pequeña, pero valiosa contribución al avance del conocimiento.

CAPITULO I – INTRODUCCIÓN

1. FACTORES DE RIESGO CARDIOMETABÓLICO Y ENTRENAMIENTO AERÓBICO EN INTERVALOS

La agrupación o suma de distintos factores de riesgo cardiometabólico como la obesidad abdominal, la intolerancia a la glucosa, la dislipidemia y la hipertensión se ha definido como Síndrome Metabólico (SM) (Alberti et al., 2009). Según datos informados por Donoso Noroña et al., (2022) se estima que entre el 20 y el 25% de la población adulta mundial padece este síndrome. En la población española según el estudio de Fernandez-Bergés et al., (2012), con 24.670 participantes (35 a 74 años) de 10 comunidades autónomas, cuya población equivale aproximadamente al 70% de la población de España, la prevalencia era de un 31%. Estos datos tienen un fuerte impacto negativo sobre la salud cardiovascular y la muerte prematura (Gami et al., 2007). Estudios epidemiológicos indican que los estilos de vida poco saludables (tabaquismo, hábitos alimentarios poco saludables, inactividad física, sedentarismo y estrés) están estrechamente relacionados con el aumento de la prevalencia del Síndrome Metabólico (SM) y otras enfermedades no transmisibles en todo el mundo (WHO, 2018).

Los factores asociados a estilos de vida poco saludables son modificables y podrían revertirse mediante intervenciones centradas en el cambio del comportamiento. Las modificaciones del estilo de vida han mostrado resultados positivos en la prevención y el manejo del riesgo cardiometabólico (Ensenyat et al., 2020; Pattyn et al., 2013; Pedersen & Saltin, 2015). La actividad física se considera un componente clave de un estilo de vida saludable y los beneficios para la salud de la práctica regular del ejercicio de intensidad moderada están bien establecidos (Pedersen & Saltin, 2015; Rognmo & Wisløff, 2019; Ruegsegger & Booth, 2018; Thompson & Eijsvogels, 2018). Se ha descrito que con una dosis mínima de actividad física (AF) aeróbica se genera una reducción significativa del riesgo de

mortalidad. Según un reciente estudio (Coleman et al., 2022), una exposición de una hora/semana de actividad moderada o vigorosa reduce el cociente de riesgo o *hazard rate* (*HR*) (*HR*: 0.85; IC 95%; 0.83 a 0.86), con una reducción adicional de este riesgo (*HR*: 0.73; IC 95%; 0.71 a 0.75) que ha sido observada al alcanzar 3 horas/semana de actividad moderada o vigorosa.

El entrenamiento aeróbico continuo (EAC), tradicionalmente realizado a intensidades entre el 45-75% del consumo máximo de oxígeno (VO_{2MAX}) durante 30 minutos o más, puede ser una opción segura. Sin embargo, desde hace algunos años, ha habido un interés creciente en la aplicación del entrenamiento en intervalos de alta intensidad (HIIT), en entornos reales de atención sanitaria (Arena et al., 2013; Cassidy et al., 2017; Pattyn et al., 2013; Ramos et al., 2015; Rankin et al., 2012).

El HIIT se caracteriza por la repetición de periodos de esfuerzo de corta (<45 s) a larga (2-4 min) duración a una intensidad relativamente elevada y separados por periodos de recuperación (Buchheit & Laursen, 2013; MacInnis & Gibala, 2017). El HIIT tiene múltiples variaciones y no existe consenso con relación a la duración, intensidad y número de repeticiones de los periodos de esfuerzo; a la duración e intensidad de los de recuperación; ni a la relación entre ambos. Buchheit y Laursen (2013), han propuesto cuatro formatos distintos; 1) entrenamiento de sprints repetidos – RST (intervalos de esfuerzo de duración inferior a 10 segundos y muy alta intensidad), 2) entrenamiento en intervalos de sprint – SIT (duración de 20 a 30 segundos a muy alta intensidad), 3) HIIT con intervalos cortos (duración inferior a 45 segundos e intensidad alta pero no máxima); y por último 4) HIIT con intervalos largos (duración de 2 a 4 minutos a una intensidad elevada pero no máxima).

Con la finalidad de intervenir sobre el riesgo cardiometabólico se han investigado los efectos de programas HIIT. No existe homogeneidad en la duración e intensidad de los intervalos de estos programas y pueden variar desde intervalos de muy corta duración (tipo SIT) hasta intervalos de larga duración (HIIT largo) (Batacan et al., 2017; Campbell et al.,

2019; Jelleyman et al., 2015; Kessler et al., 2012) (Tabla 1). Una de las formas de HIIT implementadas con mayor frecuencia en este ámbito, es el entrenamiento aeróbico en intervalos (EAI) que se caracteriza por 4 a 6 intervalos largos (4 minutos) a una intensidad inferior a la del SIT (85%-95% FC_{MAX} o bien 80-95% del $VO2_{MAX}$) (Batacan et al., 2017; Callahan et al., 2021; Campbell et al., 2019; Cassidy et al., 2017; Kessler et al., 2012).

Las evidencias actuales han puesto de relieve el potencial del entrenamiento aeróbico en intervalos, como estrategia de ejercicio físico, en términos de mejora del estado de riesgo cardíaco y metabólico. Se ha demostrado que el EAI reduce la prevalencia de los factores de riesgo cardiometabólico (Batacan et al., 2017; Campbell et al., 2019; Dias et al., 2018; Kessler et al., 2012; Moholdt et al., 2009; Stensvold et al., 2010; Arnt Erik Tjønnna et al., 2008a). En algunas revisiones sistemáticas, el EAI ha mostrado mejores resultados que el EAC (Leal et al., 2020; K. Weston et al., 2014); mientras que en otras se llega a la conclusión que el EAI presenta efectos similares a los observados en el EAC (Batacan et al., 2017; Campbell et al., 2019).

Los estudios han demostrado efectos positivos en personas sanas que practican deporte con un propósito recreativo (Helgerud et al., 2007; Milanović et al., 2015), así como en pacientes con enfermedad arterial coronaria (Moholdt et al., 2009; Pattyn et al., 2014; Rognum et al., 2004; Wisløff et al., 2007) o síndrome metabólico (Stensvold et al., 2010; Arnt Erik Tjønnna et al., 2008a). Asimismo, Campbell et al., (2019), indican que las personas con sobrepeso o con mayor riesgo de padecer enfermedad cardiovascular o diabetes muestran más efectos positivos en la adaptación al EAI que las personas sanas.

Efectos del EAI sobre los factores de riesgo cardiometabólico

La mayor parte de estos estudios se han centrado en los efectos de programas supervisados de HIIT sobre el índice de masa corporal (IMC), glucemia en ayunas, niveles plasmáticos de lípidos y presión arterial. Los resultados de estos estudios muestran:

a) IMC-grasa corporal

A partir de los datos del meta-análisis (Batacan et al., 2017) en el que se comparan los efectos de diferentes tipos de entrenamiento, los autores concluyeron que el HIIT de intervalos largos (EAI) parece proporcionar los mismos beneficios en la reducción de la grasa corporal que el EAC. También otros autores (Kessler et al., 2012) observaron que en personas con sobrepeso/obesidad los programas de EAI de un mínimo de 12 semanas de duración pueden producir cambios positivos de la adiposidad corporal similares a los de programas de EAC.

Autores como Keating et al., (2017) destacan que si el objetivo es una reducción de la grasa corporal, las intervenciones requieren un volumen de entrenamiento mayor para conseguir el gasto energético necesario, lo que podría no ser posible alcanzar con el HIIT. Además, Silva et al., (2020) observan que el HIIT presenta una mayor reducción de la grasa corporal en comparación al EAC cuando se compara la duración (número de semanas) de las intervenciones, pero añaden la necesidad de considerar el tiempo efectivo de esfuerzo.

b) Glucemia y sensibilidad a la insulina

Los efectos del EAI sobre los niveles de glucosa en sangre en ayunas y la sensibilidad a la insulina son poco consistentes. Parece que el EAI (HIIT de intervalos largos) no modifica la glucemia en ayunas; solamente un estudio en el que participaron 10 personas indica una disminución de la glucemia en ayunas), ni la sensibilidad a la insulina en personas con poco riesgo metabólico, ni tampoco en personas con sobrepeso/obesidad ($d = -0.15$; IC 95%; -0.34 a 0.04 ; $p = 0.11$) (Batacan et al., 2017; Campbell et al., 2019).

Sin embargo, Kessler et al., (2012) indica que el EAI puede ser efectivo para aumentar la sensibilidad a la insulina en personas que presentan factores de riesgo cardiometabólico; mientras que en personas sin riesgo cardiometabólico los efectos del EAI serían similares a los del EAC.

Jelleyman et al., (2015) indican que el HIIT produce una reducción de la glucemia en ayunas similar a los efectos del EAC o del grupo control (no ejercicio). Sin embargo, en personas con síndrome metabólico o con diabetes tipo 2, la reducción de glucosa en ayunas fue superior después de HIIT que en el grupo control. También observaron una reducción de la resistencia a la insulina que fue superior en el HIIT en comparación al grupo de EAC ($d = 0.35$; IC 95%; -0.68 to -0.02) o al grupo control ($d = -0.49$; IC 95%; -0.87 to -0.12).

c) Niveles plasmáticos de lípidos (perfil lipídico)

A pesar que algunos investigadores (Weston et al., 2014) indican que el EAI se relaciona con un aumento de los niveles plasmáticos de colesterol unido a lipoproteínas de alta densidad (HDLc) y una disminución de los triglicéridos (TG), revisiones más recientes no observan cambios consistentes del perfil lipídico (Batacan et al., 2017). Solamente uno de nueve estudios que aplicaron EAI observó un aumento de las HDLc, mientras que en los 8 restantes no se modificaron ($d = 0.20$; IC 95%; -0.01 a 0.40 ; $p = 0.06$). Ningún estudio entre los que midieron los TG en plasma observaron cambios ($d = -0.04$; IC 95%; -0.23 a 0.15 , $p = 0.67$) (Batacan et al., 2017).

Kessler et al., (2012), solamente observan un aumento de HDLc en algunas intervenciones de EAI de más de 8 semanas de duración. Ninguno de los estudios revisados indicó cambios positivos de colesterol total, LDLc o TG. Según Kessler et al., (2012), es posible que la duración de los estudios sea demasiado corta para producir efectos. Además, los cambios fueron similares a los observados en EAC.

d) Presión arterial

Según el estudio de Batacan et al., (2017), en personas con normopeso el EAI no tiene efectos significativos, ni consistentes, sobre la presión arterial sistólica y/o la diastólica; mientras que en personas con sobrepeso/obesidad, el EAI reduce la presión arterial sistólica (PAS) y diastólica (PAD). Parece que la PAD es más sensible al EAI; de los 13 estudios que

analizaron la presión arterial, 6 registraron una disminución de la PAD y solamente 2 registraron también una reducción de la PAS. Los datos aportados por Kessler et al., (2012), muestran que programas de EAI de 12 semanas reducen la presión arterial con efectos similares a los del EAC.

Leal et al., (2020) concluyeron que, en personas con hipertensión, tanto el HIIT como el EAC pueden promover una reducción en la PAS, y que el HIIT mostró una mayor magnitud en la reducción de la PAD.

En el caso específico del estudio realizado por Ensenyat et al., (2020) con personas sedentarias y factores de riesgo metabólico, los resultados muestran que un programa de EAI semi-supervisado reduce la presión arterial, con cambios similares en el grupo EAC y el grupo control.

Tabla 1

Estudios de referencia que comparan el efecto del EAI y EAC en factores de riesgo cardiometabólico.

VARIABLES\ ESTUDIOS	(Batacan et al., 2017)	(Kessler et al., 2012)	(Keating et al., 2017)	(Jelleyman et al., 2015)	(Silva et al., 2020)	(Leal et al., 2020)
IMC / Grasa corporal	<ul style="list-style-type: none"> • IMC mejora en 4 de 11; • CC mejora en 3 de 5. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en 6/6 estudios; • Efectos comparables con EAC. 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 estudios considerando la grasa corporal (%) y 10 la masa grasa (kg). • EAI y el EAC presentan beneficios similares para la reducción de la grasa corporal 	-	<ul style="list-style-type: none"> • % de grasa presenta mayor reducción en 6/8 estudios EAI en comparación a EAC, cuando se considera la duración del ejercicio físico realizado. 	-
Glicemia / Sensibilidad a insulina	<ul style="list-style-type: none"> • Glicemia ayunas mejora en 1/9 estudios EAI; • HBA_{1c} mejora en 1/4 estudios EAI. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en 7/7 estudios; • Efectos comparables con EAC. 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor Reducción de la resistencia en la insulina con el EAI en comparación al EAC o GC en 29/29 estudios. 	-	-
HDLc	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en 1/9 estudios EAI. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en 3/10 estudios. 	-	-	-	-
PAS y PAD	<ul style="list-style-type: none"> • PAD Mejora en 6/13 estudios EAI; • PAS Mejora en 2/13 estudios EAI. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en 5/5 estudios en que los pacientes NO toman medicación antihipertensión; • No cambios en pacientes que toman medicación. • Efectos comparables con EAC. 	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • 11/15 estudios presentan mejores resultados el EAI, significativo para la PAD.

Notas: CC, circunferencia de cintura; EAC; entrenamiento aeróbico continuo; EAI, entrenamiento aeróbico en intervalos; GC, grupo control; HBA_{1c}, Hemoglobina glicada; HDLc, colesterol unido a lipoproteínas de alta densidad; IMC, índice de masa corporal; PAD, presión arterial diastólica; PAS, presión arterial sistólica.

Índice global de riesgo metabólico

En varios estudios, se ha aplicado algún índice global como indicador del riesgo metabólico y de los efectos de la intervención sobre este riesgo (Ensenyat et al., 2020; Gallardo-Alfaro et al., 2021; Reljic et al., 2018; Arnt Erik Tjønnha et al., 2008a).

Por ejemplo, se ha propuesto el índice “*metabolic syndrome severity score*” (MetSSS) (Wiley & Carrington, 2016) que considera los siguientes seis factores de riesgo: circunferencia de cintura, glucemia en ayunas, niveles plasmáticos de HDLc y de TG, PAS y PAD y mediante una ecuación estandarizada pretende medir la gravedad conjunta de estos factores de riesgo cardiometabólico. Así, se dispone de una variable continua de riesgo cardiometabólico, que proporciona una alternativa a las clasificaciones dicotómicas tradicionales asociadas al síndrome metabólico. La puntuación MetSSS puede variar entre 0 y 8,7 puntos, con un promedio de 2,6 (Wiley & Carrington, 2016).

Ensenyat et al., (2020), observaron una disminución moderada (tamaño del efecto estandarizado ($d = -0.46$) del índice MetSSS al finalizar las 16 semanas de intervención y que persistía reducido ($d = -0.49$) a las 24 semanas de seguimiento. La mejora del MetSSS se relacionaba con los cambios de la PAD y de la circunferencia de cintura. Los efectos fueron similares en los programas de ejercicio semi-supervisado EAI y EAC.

Otro índice global indicador del síndrome metabólico es el Metabolic Syndrome Z-Score (MetS-Z-Score), el cual ha sido utilizado por Reljic et al., (2018), Guio de Prada et al., (2019), Morales Palomo et al., (2019) Mora-Rodríguez et al., (2016). El índice se basa en la suma de índices Z de los cinco factores que componen el síndrome metabólico (circunferencia de cintura, glucosa en ayunas, HDLc, TG y presión arterial media). El peso de cada factor es diferente en hombres y mujeres puesto que los valores de referencia para la circunferencia de cintura y HDLc son distintos para cada sexo.

Guio de Prada et al., (2019), Mora-Rodríguez et al., (2016), y Morales-Palomo et al., (2019), también observaron una reducción del MetS-Z-Score después de 16 semanas de un programa EAI supervisado en personas con síndrome metabólico. En este estudio los

cambios fueron superiores en el EAI que en el EAC. Sin embargo, en otro estudio similar, pero de menor duración (8 semanas) (Reljic et al., 2018) no se observaron cambios significativos del MetS-Z-Score en ningún grupo de entrenamiento (EAI, SIT o EAC).

Otras variables

Aparte de los efectos sobre los factores de riesgo metabólico, también se ha informado de otros beneficios, como una mejora de la función cardíaca (Weston et al., 2014), estimulación de la biogénesis mitocondrial (Callahan et al., 2021; Little et al., 2011), estimulación del anabolismo muscular (Callahan et al., 2021) y la mejora de la calidad de vida (Weston et al., 2014).

Además, se han registrado mayores niveles de diversión durante la práctica de EAI que de EAC (Bartlett et al., 2011; Ekkekakis et al., 2011; Ensenyat et al., 2020; Reljic et al., 2018) que seguramente podría atribuirse a una mayor sensación de reto. Estos aspectos afectivos deben considerarse en las intervenciones para la promoción de los hábitos activos con el fin de mejorar la adherencia al ejercicio físico.

Condición física

Uno de los indicadores que de forma más consistente muestra mejores resultados después de EAI que de EAC es el nivel de condición física o aptitud cardiorrespiratoria (CRF) (Batacan et al., 2017; Campbell et al., 2019; Kessler et al., 2012; Leal et al., 2020; M. Weston et al., 2014). En estos estudios la CRF habitualmente se mide a partir del consumo de oxígeno máximo (VO_{2MAX}).

Batacan et al., (2017) indicaron aumentos del VO_{2MAX} después de todos (9 de 9) los estudios EAI en personas de peso normal y también en personas con sobrepeso/obesidad ($d = 1.20$; IC 95%; 0.57 a 1.83, $p < .001$). Otros autores (Jelleyman et al., 2015) también obtuvieron mejores resultados después de EAI que en el grupo control no activo ($d = 0.28$; IC 95%; 0.12 a 0.44, $p = .001$) y que en el grupo EAC ($d = 0.16$; IC 95%; 0.07 a 0.25, $p = .001$).

En otra revisión de estudios en los que participaron personas con factores de riesgo cardiometabólico y estilo de vida poco saludable, los autores pudieron evidenciar la superioridad del EAI en comparación al EAC en la CRF. Los incrementos del VO_{2MAX} fueron del 19,4% frente al 10,3%, respectivamente (Weston, et al., 2014). Leal et al. (2020), también observaron que las intervenciones de EAI producían un mayor incremento del VO_{2MAX} que las de EAC (4.9, vs. 1.3 mL/kg/min) en personas con hipertensión.

El nivel de CRF se ha identificado como un factor importante, e independiente, de predicción de la mortalidad en comparación a los factores de riesgo clásicos, como obesidad o tabaquismo (Lee et al., 2010). Myers et al., (2015) demostraron que un aumento del VO_{2MAX} de 3,5 mL/kg/min (1-MET: equivalente metabólico) supone una mejora de la supervivencia de entre el 10% y el 25% en ambos sexos. La reducción de la mortalidad puede ser incluso mayor; hasta un 30% por cada aumento de 1-MET en personas con un nivel de CRF bajo (<5 METs de capacidad funcional) y enfermedad cardiovascular (ECV) que participaron en programas de rehabilitación cardíaca (Myers et al., 2015). Además, otros autores han indicado que 1-MET de mejora del VO_{2MAX} , medido a partir de test indirectos, se relaciona con una reducción de la mortalidad en un 11% (Laukkanen & Kunutsor, 2022).

También se ha relacionado el nivel de CRF con el riesgo cardiometabólico. Algunos autores habían descrito la relación del nivel de aptitud cardiorrespiratoria (CRF) con factores de riesgo metabólico (Jurca et al., 2004; Wong et al., 2004). Recientemente en una revisión sistemática (Lee, 2020) fue indicado que independientemente del nivel de obesidad, un nivel de condición física bajo multiplica por 3,59 el riesgo de padecer síndrome metabólico; mientras que un nivel de condición física alto disminuye el riesgo en un 77%. Hassinen et al., (2010), observaron que un aumento del VO_{2MAX} de 1 mL/kg/min se asociaba a una reducción del índice Z-Mets ajustado por la edad, sexo y grupo de estudio. Esta relación era independiente de los cambios de ingesta de alcohol, perfil lipídico en plasma, tratamiento antihipertensivo, hábitos de actividad física, enfermedad cardiovascular e ingesta calórica.

Los niveles de CRF bajos pueden hacer aflorar alteraciones cardiometabólicas (Morales-Palomo et al., 2019), mientras que los niveles de CRF elevados mejoran la composición corporal, la sensibilidad a la insulina, los niveles plasmáticos de lípidos y la presión arterial (Lee et al., 2010).

Como se ha indicado anteriormente, en las intervenciones que tienen como finalidad mejorar los factores de riesgo, habitualmente, la aptitud cardiorrespiratoria (CRF) se mide a partir del consumo de oxígeno máximo (VO_{2MAX}). Se considera que el VO_{2MAX} se alcanza cuando en los estadios finales de una prueba de esfuerzo progresiva y máxima, el consumo de oxígeno (VO_2) no aumenta (<150 mL/min; <2.1 mL/kg/min) a pesar de aumentar la intensidad del esfuerzo (Robergs et al., 2010; Taylor et al., 1955). Existe mucha controversia en torno al concepto de VO_{2MAX} y hay importantes dudas respecto si las personas no deportistas alcanzan, o no, el VO_{2MAX} en una prueba de esfuerzo (Niemeyer et al., 2021; Wood et al., 2010). En esta tesis se ha respetado el concepto indicado por los distintos investigadores en sus publicaciones, sin embargo, en muchos casos seguramente el VO_2 alcanzado refleja más el VO_{2PICO} . Se entiende como VO_{2PICO} , el nivel de VO_2 más elevado alcanzado en una prueba de esfuerzo progresiva y máxima.

En la mayoría de los estudios originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis a pesar de haber realizado una prueba de esfuerzo solamente se contemplan los valores de VO_{2MAX} y en algunos casos también se analizan valores submáximos relacionados con el umbral ventilatorio (Guio de Prada, Ortega, Morales-Palomo, et al., 2019; Helgerud et al., 2007; Reljic et al., 2018) o la economía de carrera (Arnt Erik Tjønnha et al., 2013; Wisløff et al., 2007). Sin embargo, estas pruebas también permiten valorar la evolución de la adaptación al esfuerzo. Es posible que en las personas con factores de riesgo cardiometabólico, la respuesta fisiológica al esfuerzo se vea afectada cuantitativa y cualitativamente. Por ello, en esta tesis se ha considerado relevante profundizar en el análisis del proceso de adaptación al esfuerzo.

Tabla 2

Estudios de referencia que comparan el efecto del EAI y EAC en la CRF.

Estudios	VO ₂ MAX
(Batacan et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> •EAI mejora el VO₂MAX en 9/9 estudios.
(Kessler et al., 2012)	<ul style="list-style-type: none"> •El EAI provocó aumento del VO₂MAX en 14/14 estudios; •Resultados comparables (5 estudios) o superiores (8 estudios) al EAC.
(Jelleyman et al., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> •Aumento del VO₂MAX con relación a los valores iniciales con el EAI en 42 estudios. •En 31/42 estudios los valores fueron similares al grupo control.
(Leal et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> •11/11 Estudios presentan mejores resultados para el EAI en comparación al EAC. •Diferencia significativa en los resultados favorables al EAI.
(Weston et al., 2014)	<ul style="list-style-type: none"> •9/10 estudios demuestran mejores resultados en el EAI en comparación al EAC. •Además, relatan beneficios como: ↓Presión arterial sistólica y diastólica; ↑Lipoproteínas de alta densidad; ↓Triglicéridos y glucosa en ayunas; ↓Estrés oxidativo e inflamación; ↑Disfrute del ejercicio físico; ↑Calidad de vida.

Notas: ↑, aumento; ↓, disminución; EAC, ejercicio aeróbico continuo; EAI, entrenamiento aeróbico en intervalos; VO₂MAX, consumo máximo de oxígeno.

2. PRUEBAS ERGOESPIROMÉTRICAS (pERG)

Las pruebas de esfuerzo convencionales surgieron con la intención de diagnosticar de manera efectiva las anormalidades cardíacas, con el uso de la electrocardiografía (ECG) y siguen siendo un procedimiento ampliamente utilizado, en personas con o sin diagnóstico de cardiopatía. Las PE también se utilizan en otros ámbitos y grupos de personas; deportistas, sedentarias y con discapacidad.

En el ámbito de las ciencias del deporte/medicina deportiva las pruebas de esfuerzo suelen ser pruebas en las que juntamente con los parámetros cardíacos, también se monitorizan los parámetros ventilatorios y el intercambio de gases (consumo de oxígeno (VO_2) y producción de dióxido de carbono (VCO_2)). Estas se denominan pruebas ergoespirométricas (pERG) y tienen como finalidad valorar el nivel de aptitud cardiorrespiratoria (CRF), determinar la existencia de puntos fuertes y débiles, establecer las cargas del entrenamiento, y monitorizar los efectos de los programas de entrenamiento.

En el libro de "*Principles of Exercise Testing and Interpretation*", Sietsema et al., (2020), informan de la importancia de la pERG como herramienta para diagnóstico de un amplio abanico de trastornos que pueden causar la intolerancia al esfuerzo. Otros autores destacan que las pERG son una excelente herramienta para evaluar la capacidad de adaptación al esfuerzo y de la CRF de las personas (Balady et al., 2010).

Las pERG proporcionan la posibilidad de valorar de forma integrada la respuesta fisiológica al esfuerzo. La determinación de la ventilación (VE), la frecuencia cardíaca (FC), la presión arterial (PAS y PAD) y los gases espirados (VO_2 y VCO_2) proporcionan información sobre la interacción de las funciones de ventilación, intercambio de gases, cardiovascular y muscular y permiten determinar la calidad de la adaptación al esfuerzo y la existencia de puntos fuertes y débiles.

Características metodológicas

Las pERG proporcionan datos relevantes para el diagnóstico y seguimiento de la salud y la capacidad física. Existen diversas guías clínicas que establecen protocolos de buenas prácticas para la aplicación de estas pruebas con la finalidad de normalizar su uso en todos los entornos de aplicación, tanto sanitario como deportivo (Balady et al., 2010; Fletcher et al., 2013; Gibbons et al., 2002; Glaab & Taube, 2022). Para la realización de pERG se necesita de formación profesional y equipamientos específicos (analizador de gases, ergómetros y otros aparatos), lo que conlleva un coste económico que puede limitar su aplicación generalizada. Sin embargo, los avances tecnológicos actuales permiten disponer de dispositivos sofisticados a un coste asequible que se compensa por la importancia clínica de los datos fisiológicos que se pueden obtener (Kaminsky et al., 2022). Como se ha indicado en el apartado anterior, el VO_{2MAX} es un indicador de la CRF y un factor pronóstico de salud cardiometabólica (Lee, 2020; Ross et al., 2016).

En general, si se siguen las pautas establecidas (Balady et al., 2010; Fletcher et al., 2013; Glaab & Taube, 2022; Myers et al., 2009), las pERG son un procedimiento seguro, pero se ha informado de que puede producirse un fallecimiento por cada 10.000 y una complicación grave por cada 1.000 pruebas realizadas (Balady et al., 2010; Manonelles et al., 2016). En pacientes con factores de riesgo se ha informado de un riesgo mínimo con un 0,05% de morbilidad y un 0,02% de mortalidad para cada 10.000 pruebas (Manonelles et al., 2016). Es indispensable hacer un reconocimiento médico previo y un electrocardiograma en reposo antes de realizar la prueba.

a) Equipamiento y ergómetros.

Para realizar las pERG se debe disponer de un dispositivo para el análisis de gases. Este dispositivo se compone de un analizador de flujo y de los analizadores de gases para el O_2 y el CO_2 . Estos dispositivos suelen tomar las medidas a cada ciclo respiratorio (breath-by-

breath) y disponen de un programa informático para procesar los datos analizados. Los dispositivos deben ser calibrados antes de cada prueba, comprobando el valor de la medida y el tiempo de retardo. Durante la prueba el instrumento recoge el aire espirado a través de una máscara con una válvula unidireccional, o de una boquilla, conectadas a la persona que hace la pERG (Figura 1). Asimismo, por su efecto sobre la concentración del O₂ inspirado, en el momento de la prueba se deben tener en consideración las condiciones ambientales (temperatura, humedad y presión barométrica).

Figura 1

pERG realizada en cicloergómetro.



NOTAS: Participante del proyecto realizando una pERG en cicloergómetro en las instalaciones del laboratorio de valoración funcional del INEFC-Lleida.

El procedimiento de la pERG debe ser ajustado a la población a la que se aplica, tanto en el sentido de escoger el protocolo de la prueba, como el ergómetro utilizado. Existen diferentes modelos de ergómetros; el tapiz rodante, el cicloergómetro, el ergómetro de brazos, el kayak ergómetro, el remo ergómetro, el ergómetro de natación. Los ergómetros pueden ser mecánicos o eléctricos, y mediante la modificación de parámetros como la velocidad, la pendiente o la resistencia/masa se puede variar la magnitud de la carga aplicada.

En el ámbito de la salud, los ergómetros más utilizados son el tapiz y el cicloergómetro (Tabla 3). El uso de un cicloergómetro suele recomendarse en personas que presentan alguna dificultad en el equilibrio o limitaciones ortopédicas o cuando se pretende controlar con exactitud la presión arterial u obtener mejores registros electrocardiográficos (Manonelles et al., 2016). Sin embargo, en las personas no acostumbradas al cicloergómetro, o si éste no está bien ajustado a las características de la persona, puede provocar una fatiga localizada en las extremidades inferiores que puede llegar a limitar la tolerancia a la pERG. Se estima que esta limitación podría incluso provocar una disminución de un 10-20% del VO_{2MAX} (Myers et al., 1991).

Tabla 3

Ergómetros: cicloergómetro versus tapiz.

Características	Cicloergómetro	Tapiz
• Consumo máximo de O_2 (VO_{2MAX})	Puede ser inferior	Puede ser mayor
• Recogida de muestras de sangre	Más fácil	Más difícil
• Artefactos y ruido en los datos recogidos	Menos	Más
• Seguridad	Seguro	Menos seguro
• Soporte del peso corporal (obesidad)	No perjudica	Perjudica
• Massa muscular activa	Menor	Mayor
• Recomendado para...	Pacientes	Personas activas sanas

Notas: Tabla adaptada de Albouaini et al., (2007).

De los estudios sobre los efectos del EAI en personas con riesgo metabólico que han valorado el VO_{2MAX} , aproximadamente el 50% ha realizado la prueba en cicloergómetro (Gormley et al., 2008; Guio de Prada, Ortega, Morales-Palomo, et al., 2019; Morales-Palomo et al., 2019; Reljic et al., 2018) y el 50% restante en tapiz (Helgerud et al., 2007; Molmen-Hansen et al., 2012; Schjerve et al., 2008; Arnt Erik Tjønnå et al., 2008a, 2013).

b) Protocolo

Los protocolos más habituales son de tipo incremental (en rampa o escalonado), de manera que a lo largo de la prueba se aumenta la intensidad del esfuerzo y eso conlleva a la necesidad de adaptación continúa por parte de los sistemas del cuerpo humano. Es importante el uso de un protocolo adecuado para optimizar y asegurar la calidad de los datos que se derivan de la pERG. Se aconseja el uso de protocolos que impliquen incrementos de carga de trabajo modestos ya que permiten obtener un registro más suave de la adaptación al esfuerzo (Balady et al., 2010).

Los protocolos de los estudios sobre los efectos del EAI en personas con riesgo metabólico son muy diversos. Entre los que han realizado la prueba en cicloergómetro (Gormley et al., 2008; Guio de Prada, Ortega, Morales-Palomo, et al., 2019; Morales-Palomo et al., 2019; Reljic et al., 2018) los incrementos de carga varían entre 15 W y 50 W en intervalos de 1 a 3 minutos. Los estudios en los que se ha realizado la prueba en tapiz (Helgerud et al., 2007; Molmen-Hansen et al., 2012; Schjerve et al., 2008; Arnt Erik Tjønnha et al., 2008a, 2013) la disparidad aún es mayor; algunos mantienen la pendiente fija al 10% y aumentan la velocidad en 1 km/h cada minuto; mientras que otros mantienen la velocidad fija y aumentan la pendiente (1%- 2%) cada 1 o 2 minutos.

c) Criterios de detención prematura

Normalmente las pERG finalizan cuando la persona no puede adaptarse al esfuerzo mecánico impuesto por la prueba. Sin embargo, durante el desarrollo de una pERG se debe prestar atención a la adaptación de la persona y considerar los criterios de detención prematura de la misma (Albouaini et al., 2007; Balady et al., 2010; Gibbons et al., 2002) (Tabla 4).

Tabla 4*Criterios para la detención prematura de las pERG.*

Síntomas	<ul style="list-style-type: none"> Mareo, sensación de pérdida de conocimiento, descoordinación, dolor torácico tipo angina, disnea, visión borrosa, palidez extrema, confusión mental.
Signos	
<ul style="list-style-type: none"> ECG 	<ul style="list-style-type: none"> Cambios sugerentes de isquemia del miocardio Arritmias severas que se agravan (dobletes, salvas, taquicardia ventricular, extrasístoles supraventriculares...) Alteraciones de la conducción (Bloqueos de 2do o 3er grado...)
<ul style="list-style-type: none"> Hemodinámicos 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la FC y la PAS (<20 mmHg) a pesar de aumentar la carga de trabajo. Respuesta hipertensiva (PAS>250 mmHg; PAD>115 mmHg) a baja o moderada intensidad. Desaturación severa (SpO₂ <80%) asociada a signos y síntomas de hipoxemia.

Notas: ECG, electrocardiograma; FC, frecuencia cardíaca; PAD, presión arterial diastólica; PAS, presión arterial sistólica; SpO₂, saturación de la hemoglobina.

Adaptado de (Albouaini et al., 2007; Balady et al., 2010; Gibbons et al., 2002).

d) Variables analizadas

Las principales variables que se registran y evalúan incluyen:

- variables de rendimiento o capacidad de trabajo externo (vatios, km/h...);
- variables ergoespirométricas (VE, VO₂, VCO₂...);
- variables cardiovasculares (FC, ECG, presión arterial...);
- variables subjetivas (sensación subjetiva de esfuerzo...).

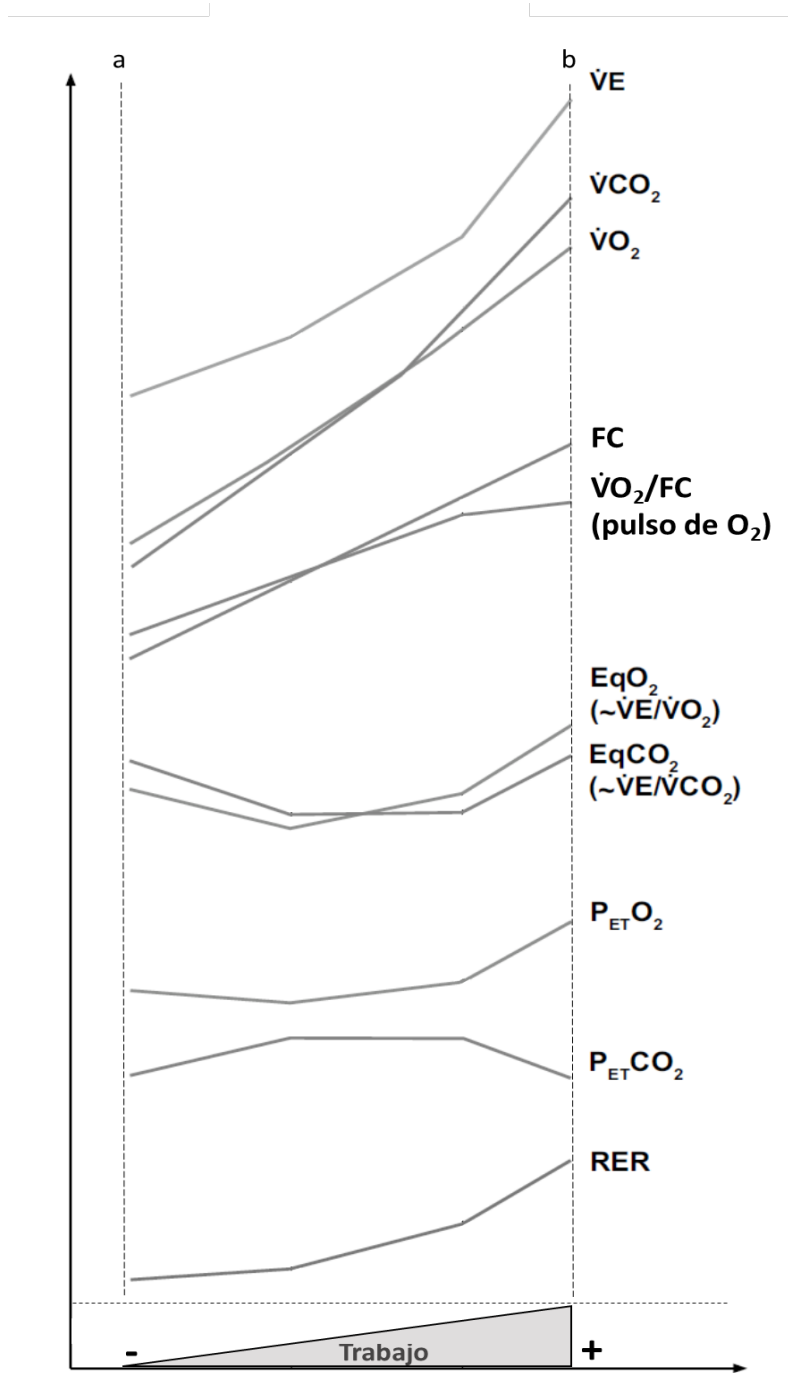
También es posible durante el esfuerzo monitorizar variables derivadas de las anteriores como: el cociente respiratorio (VCO₂/VO₂ o RER), los equivalentes ventilatorios para el O₂ y el CO₂ (VE/VO₂ (EqO₂), VE/VCO₂ (EqCO₂)), la relación espacio muerto/volumen corriente (Vd/Vt), el pulso de oxígeno (VO₂/FC).

Interpretación de las pERG

La principal finalidad de la interpretación de los resultados de las pruebas de esfuerzo es determinar si la adaptación al esfuerzo se produce de forma adecuada o si por el contrario existe alguna alteración. La Figura 2 muestra de forma esquemática la evolución de las principales variables (ventilatorias, cardiovasculares, intercambio de gases) registradas durante la pERG. Como indican Glaab y Taube (2022), para la interpretación se requiere poseer conocimientos básicos de fisiología del ejercicio y hacer una aproximación estructurada.

Figura 2

Evolución esquemática de las variables ergoespirométricas y cardiovasculares durante una prueba progresiva.



Notas: Cambios característicos en las variables clave de una pERG

a, momento inicial de una pERG; b, momento final de una pERG; EqCO₂, equivalente de dióxido de carbono; EqO₂, equivalente de oxígeno; FC, frecuencia cardíaca; PetO₂, presión espiratoria de oxígeno; PetCO₂, presión espiratoria de dióxido de carbono; RER, cociente respiratorio; VCO₂, producción de dióxido de carbono; VE, ventilación; VO₂, consumo de oxígeno.

Adaptado de Glaab & Taube (2022).

a) Capacidad de trabajo

El trabajo representa una medida del esfuerzo externo realizado por la persona evaluada. La capacidad de realizar un trabajo, o sea del producto de una fuerza y el desplazamiento, explica la necesidad del sistema musculoesquelético de generar tensión para producir movimiento. Esta acción de mover parte del cuerpo, o bien toda la masa corporal, a una velocidad durante cierto período de tiempo se denomina trabajo. Puede ser registrado a partir de ergómetros donde se cuantifican y se gradúa la carga a la que se opone la persona al realizar el esfuerzo durante la pERG. Durante las pERG el trabajo aumenta a medida que crece la resistencia que la persona evaluada debe vencer. En el caso de esta tesis doctoral se ha utilizado un cicloergómetro. El cicloergómetro mide el trabajo realizado en watts (W) que depende de la cadencia de pedaleo y la resistencia que se opone al mismo, e indica la potencia que se realiza en el esfuerzo.

En las pERG se registra el trabajo máximo realizado y la magnitud del trabajo en distintos puntos de esfuerzo. También en algunos casos se expresan los valores de otras variables con relación al trabajo realizado, por ejemplo, los cambios de VO_2 con relación a los cambios del trabajo externo (VO_2/W).

b) Variables ergoespirométricas

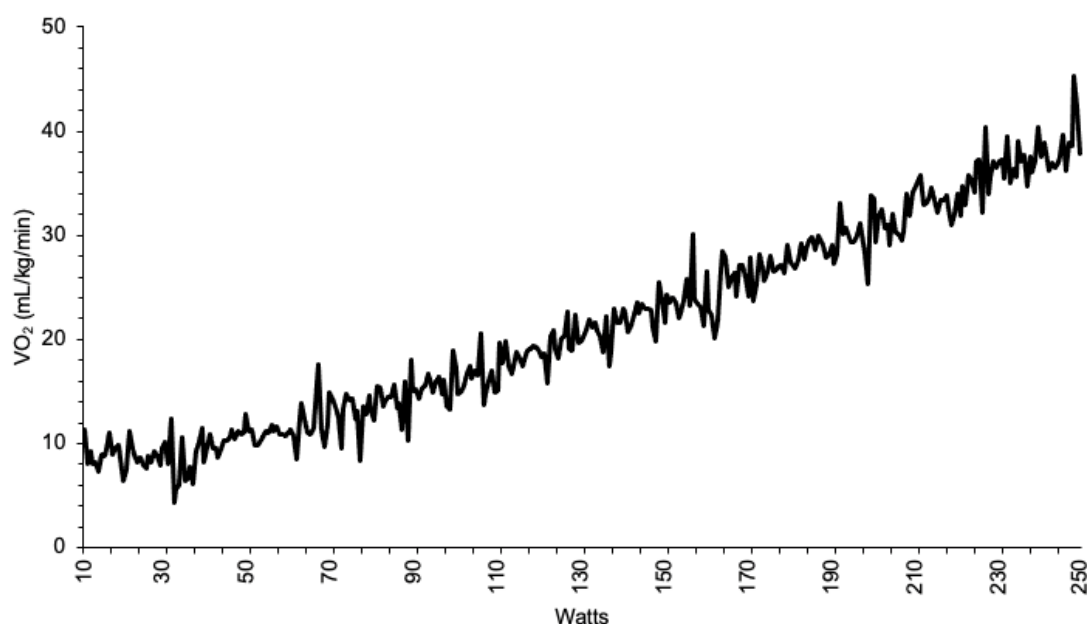
Durante la pERG el VO_2 va aumentando linealmente con la intensidad o carga de trabajo. Esta relación lineal se mantiene durante las cargas de trabajo bajas a moderadas. En el momento en que la persona evaluada alcanza niveles elevados y muy elevados de esfuerzo esta relación se modifica, los incrementos de VO_2 serán menores e incluso se estabiliza (Sietsema et al., 2020). Es decir, que el VO_2 se mantendrá estable a pesar de que se aumente la carga de trabajo. Como se ha indicado en el apartado condición física, el valor de VO_2 alcanzado se denomina VO_{2MAX} .

No siempre se observa esta meseta o aplanamiento y el VO_2 va aumentando hasta que en los últimos estadios alcanza su valor más elevado, o VO_{2PICO} (Figura 3).

La relación entre el aumento de VO_2 y el incremento del esfuerzo mecánico ($\Delta VO_2/\Delta W$) informa de la participación de sistema aeróbico durante el esfuerzo. Niveles bajos de VO_{2PICO} o del índice $\Delta VO_2/\Delta W$ pueden sugerir dificultades para proporcionar energía por vía aeróbica (deficiencias en el transporte y distribución del O_2 , y en la utilización del O_2 a nivel muscular).

Figura 3

Relación entre el VO_2 y la carga de trabajo



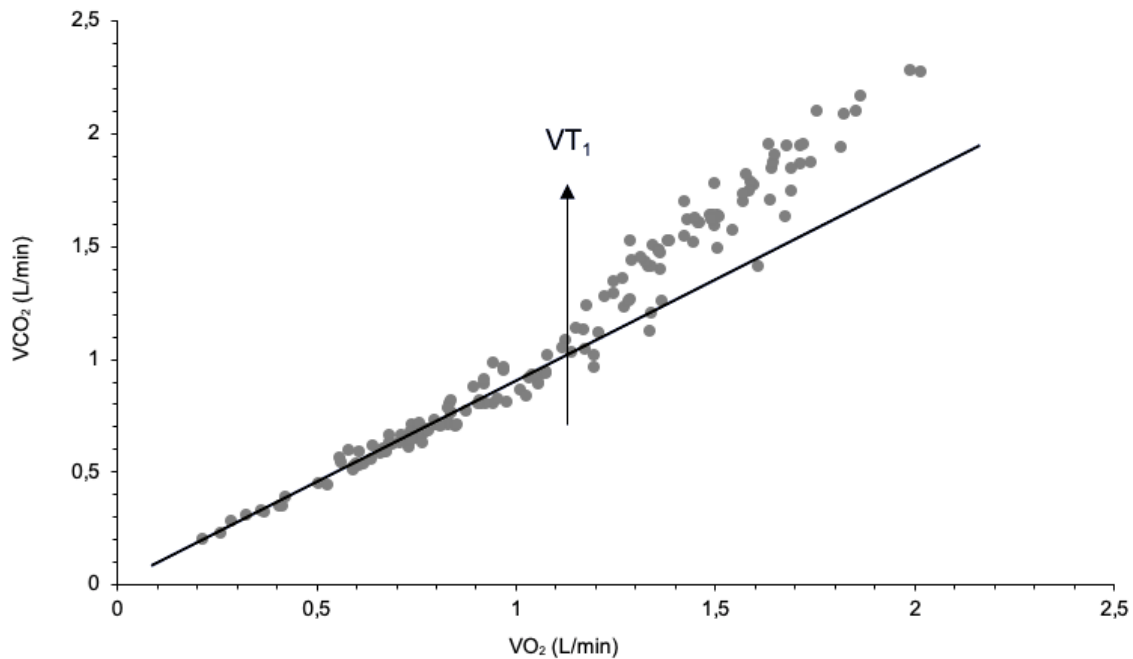
Nota: Registro a cada 5 segundos del VO_2 en relación con la carga de trabajo (watts), durante una pERG de un participante del estudio; VO_2 , consumo de oxígeno; W, watts.

El VO_{2PICO} , parece ser diferente entre hombres y mujeres, según Kaminsky et al., (2022) la diferencia media global es de un 27%. Además, con la edad los niveles de VO_{2PICO} van disminuyendo. Se ha descrito que este descenso es aproximadamente de un 9,2% para los hombres y un 10,3% para las mujeres por década (Kaminsky et al., 2022a).

La relación entre el VO_2 y la producción de dióxido de carbono (VCO_2) también proporciona información relevante sobre la adaptación al esfuerzo. Durante el esfuerzo progresivo, el VCO_2 aumenta proporcionalmente con la intensidad del esfuerzo, y a partir de un cierto punto el VCO_2 empieza a aumentar con una pendiente más pronunciada (**Figura 2**). El crecimiento del VCO_2 se asocia con la neutralización de la acidosis derivada del metabolismo anaeróbico. El gráfico (V_{SLOPE}) que relaciona el VO_2 con el VCO_2 muestra una pérdida de linealidad en la relación entre ambas variables y un crecimiento más sostenido del VCO_2 en comparación al crecimiento del VO_2 . Este punto, asociado con la neutralización de la acidosis, se utiliza como una referencia para determinar el umbral ventilatorio 1 (VT_1).

Figura 4

V_{SLOPE} ; relación entre el VO_2 y el VCO_2 en una prueba ergoespirométrica



Notas: Registro a cada 5 segundos del VCO_2 en relación con el VO_2 durante una pERG de un participante del estudio; VCO_2 , producción de dióxido de carbono; VO_2 , consumo de oxígeno, VT_1 , umbral ventilatorio 1.

La ventilación (VE) o volumen minuto respiratorio, tiene como principal función facilitar el intercambio de gases, O_2 y de CO_2 , con el entorno, y la regulación del pH de la sangre (Sietsema et al., 2020). El análisis de gases durante una pERG permite obtener información respiración a respiración de la frecuencia respiratoria y del volumen de aire que pasa por las vías respiratorias.

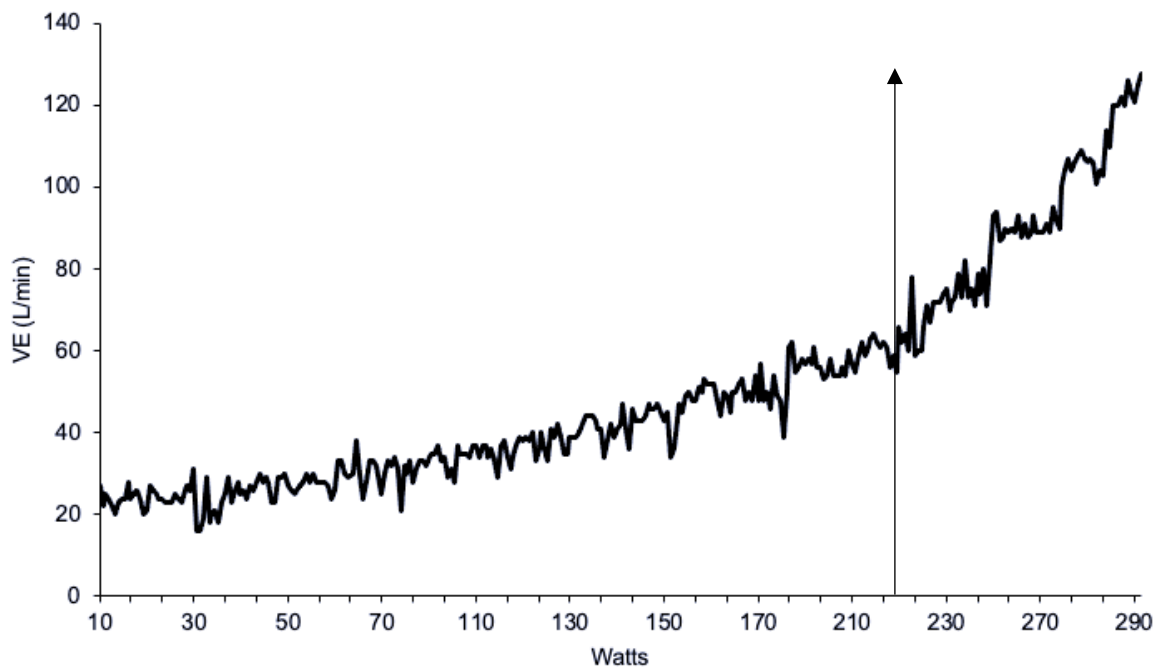
La VE aumenta siguiendo una curva exponencial, primero con una pendiente suave y a partir del ejercicio de moderada-alta intensidad el crecimiento se acelera y la pendiente se vuelve más pronunciada (Figura 5) hasta alcanzar los valores más elevados (VE_{PICO}).

La VE_{PICO} puede dar información pronóstica en personas con enfermedad coronaria, insuficiencia cardíaca o miopatía mitocondrial (Akkerman et al., 2010; Malhotra et al., 2016), siendo así un importante marcador para la salud.

Según los datos del informe de la “*Fitness Registry for the Importance of Exercise National Database*” (FRIEND) (Kaminsky et al., 2018), en el que participaron 3043 hombres y 2189 mujeres, se observó que la VE_{PICO} , es un 34% mayor en los hombres en comparación a las mujeres. También se observó que a partir de los 30 años, hay una disminución de un 8% de la VE_{PICO} por cada década sucesiva, independientemente del sexo (Kaminsky et al., 2018).

Figura 5

Evolución de la ventilación durante un esfuerzo progresivo máximo.



Notas: Registro a cada 5 segundos de la VE durante una pERG de un participante del estudio; ↑ punto de compensación ventilatoria. VE, ventilación.

En las pruebas de esfuerzo, la relación entre la VE y el VO_2 o el VCO_2 se puede valorar a partir de los equivalentes ventilatorios para el O_2 ($EqO_2 = VE/VO_2$) y para el CO_2 ($EqCO_2 = VE/VCO_2$). Los equivalentes ventilatorios indican cuantos litros de aire se deben ventilar para consumir 1L de O_2 o para expulsar 1L de CO_2 . Se consideran indicadores de la eficiencia ventilatoria para el intercambio de gases. Cuanto menor es su valor, más efectivo es el

intercambio de gases o la ventilación. Un aumento de los equivalentes puede ser debido a hiperventilación (hiperventilación inespecífica), acidosis metabólica (hiperventilación por compensación), alteraciones de la relación ventilación/perfusión (ineficiencia ventilatoria real).

La evolución de los equivalentes ventilatorios durante una prueba de esfuerzo también son una forma de determinar puntos de intensidad clave; los umbrales ventilatorios (VT_1 o umbral aeróbico (AT) y umbral ventilatorio 2 (VT_2) o punto de compensación respiratorio RCP). El EqO_2 suele descender al inicio de la pERG, cuando la intensidad del esfuerzo es baja, alcanzando su punto más bajo (nadir) a intensidades bajas-moderadas. A continuación, vuelve a aumentar de forma sostenida a medida que se desarrolla la pERG y la intensidad sigue creciendo. Se ha relacionado el nadir del EqO_2 (asociado a estancamiento del $EqCO_2$) con el umbral ventilatorio1 (VT_1 o AT) (Glaab & Taube, 2022). Por otro lado, el $EqCO_2$ suele descender al inicio de la pERG, cuando la intensidad del esfuerzo es baja y moderada, alcanzando su punto más bajo a intensidades más elevadas que el EqO_2 . A continuación, aumenta rápidamente hasta el final de la pERG. Se ha relacionado este punto de inflexión del EqO_2 con el umbral ventilatorio 2 (VT_2 o RCP).

La relación entre la VE y el VO_2 o el VCO_2 también se puede valorar a partir de las presiones parciales al final de la espiración, tanto del O_2 ($P_{ET}O_2$), como del CO_2 ($P_{ET}CO_2$). Cuanto mayor es la hiperventilación, mayor será la $P_{ET}O_2$ y menor la $P_{ET}CO_2$. Durante la pERG, la $P_{ET}O_2$ disminuye a intensidades bajas y posteriormente aumentará; mientras que la $P_{ET}CO_2$ primero aumenta y en los últimos estadios de la prueba disminuirá (Figura 2).

En las fases iniciales de un esfuerzo incremental la $P_{ET}O_2$ tiende a disminuir. Este comportamiento es concomitante a un aumento del VO_2 debido a la mayor utilización de oxígeno en el músculo activo. En esta misma fase, la $P_{ET}CO_2$ presenta un ligero aumento a causa de la mayor producción de CO_2 . A medida que transcurre la pERG y aumenta la intensidad del esfuerzo evolucionando de un esfuerzo de ligero a moderado, el VO_2 sigue aumentando linealmente con la carga de trabajo. La $P_{ET}O_2$ puede mantenerse estable o

aumentar un poco, ya que al haber también una mayor producción de CO_2 se estimula la VE (Sietsema et al., 2020). En los estadios finales de la pERG, cuanto la intensidad es elevada, y ya no es posible mantener la estabilidad/equilibrio ácido-base, la VE trata de compensar la acidosis metabólica a través de la eliminación de CO_2 . Este aumento de la VE produce un descenso persistente de la P_{ETCO_2} , mientras que la P_{ETO_2} sigue aumentando (Sietsema et al., 2020). Estas variables también son una forma de determinar la intensidad a la que se producen los umbrales ventilatorios (VT_1 o AT y VT_2 o RCP).

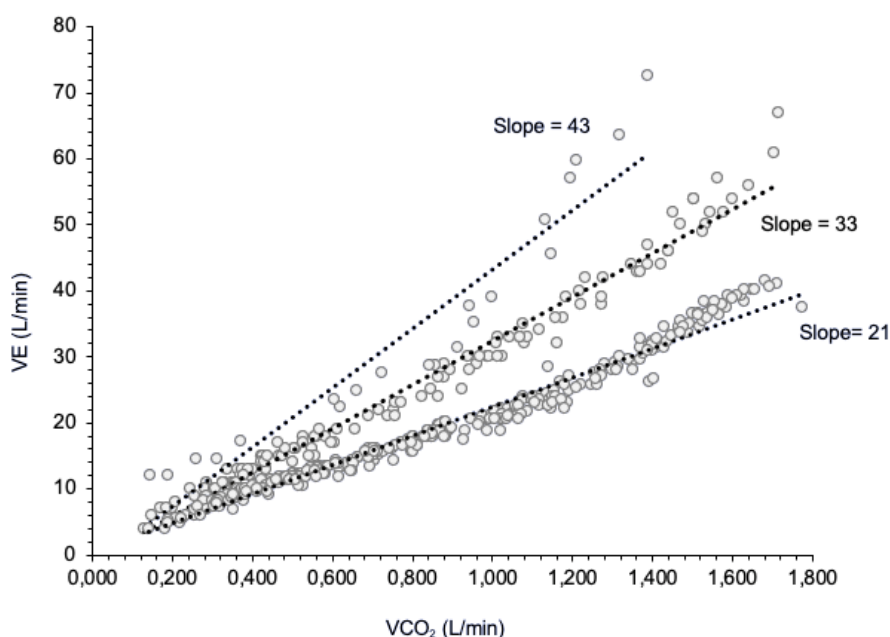
Otra forma de analizar la eficiencia de la ventilación durante una pERG es la valoración de la pendiente de la relación entre la ventilación y la VCO_2 ($\text{VE}/\text{VCO}_{2\text{SLOPE}}$) (Figura 6). La pendiente VE/VCO_2 se obtiene a partir de la regresión lineal de la relación entre la ventilación y la VCO_2 . Según Balady et al., (2010) la pendiente VE/VCO_2 integra la relación entre la ventilación y la perfusión, y la sensibilidad de quimiorreceptores y ergorreceptores. La pendiente VE/VCO_2 refleja los litros de aire ventilados para cierta cantidad de CO_2 producido. Los valores de pendiente VE/VCO_2 superiores a 36 se han asociado con un mayor riesgo de morbilidad y mortalidad (Malhotra et al., 2016). También se ha indicado que este índice es sensible a los cambios y relevante para evaluar la progresión de las personas con ECV.

Una ventaja de este indicador es que puede ser realizado utilizando parte de los datos de la pERG o todos los datos (Phillips et al., 2020). Sin embargo, se ha demostrado que el uso de todos los datos de la prueba tenía un mayor valor pronóstico que el uso de datos parciales (Arena et al., 2003). Se consideran normales los valores de la pendiente VE/VCO_2 inferiores a 30 (<30), independientemente de la edad y sexo. Personas con insuficiencia cardíaca, hipertensión pulmonar, EPOC presentan valores superiores a 60 (Balady et al., 2010).

Según nuestro conocimiento no existen muchos estudios que hayan monitorizado los cambios de la pendiente VE/VCO_2 en intervenciones de ejercicio físico (Guio de Prada, Ortega, Morales-Palomo, et al., 2019; Morales-Palomo et al., 2019).

Figura 6

Pendiente de la relación entre la producción de CO₂ y la ventilación.

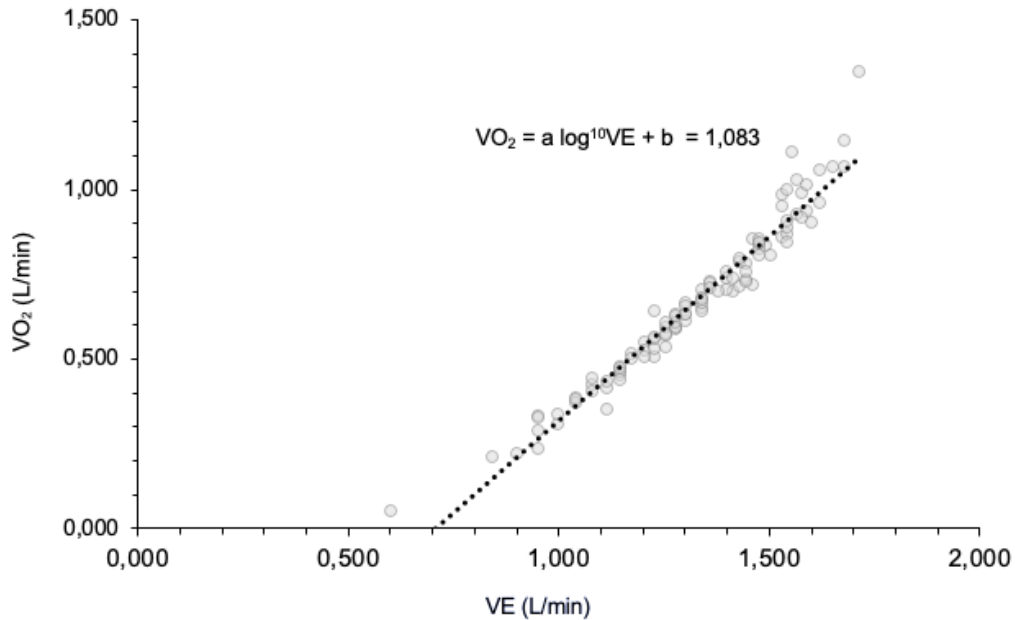


Notas: Registro a cada 5 segundos de una pERG de tres participantes diferentes del estudio; VE, ventilación; VCO₂, producción de CO₂; Slope, pendiente de la relación entre la VE/VCO₂.

La pendiente de la eficiencia de la captación de oxígeno (OUES) refleja la coordinación de los sistemas pulmonar y cardiovascular, pero también la capacidad del músculo en ejercicio para extraer y utilizar el O₂ (Balady et al., 2010). Como la pendiente VE/VCO₂, también se considera que el OUES tiene valor pronóstico, es sensible al cambio y relevante para evaluar la progresión de la capacidad de ejercicio en pacientes con enfermedad coronaria, insuficiencia cardíaca o miopatía mitocondrial (Akkerman et al., 2010; Malhotra et al., 2016). Para calcular el OUES se realiza un análisis de regresión lineal de la relación entre el VO₂ y el logaritmo de la VE ($VO_2 = a \log^{10} VE + b$) (Figura 7) (Baba et al., 1996). Los valores se expresan en un solo dígito (1 a 4) cuando VO₂ se expresa en unidades litros por minuto. Una OUES alta sugiere una buena capacidad de adaptación y una buena función fisiológica (Balady et al., 2010).

Figura 7

Pendiente de la eficiencia de la captación de oxígeno (OUES).



Notas: Registro a cada 5 segundos de una pERG de un participante del estudio; VE, ventilación; VO_2 , Consumo de oxígeno; $VO_2 = a \log^{10} VE + b$, cálculo del OUES.

El cociente respiratorio (RER) se calcula a partir del análisis de gases mediante la división del VCO_2 por el VO_2 (VCO_2/VO_2). Durante la realización de una pERG, al aumentar la intensidad del esfuerzo el RER aumenta de 0,8 a valores superiores a 1 debido a la producción de CO_2 no respiratorio en las reacciones ácido-base.

El RER es una medida objetiva del nivel de esfuerzo realizado, siendo efectivo para la comparación de esfuerzos realizados con diferentes protocolos. El RER se ha aplicado como indicador del esfuerzo; así en las pERG se considera que un $RER \geq 1,10$ (personas sanas) (Balady et al., 2010; Glaab & Taube, 2022) o $\geq 1,05$ (personas con patología) indican que el esfuerzo ha sido excelente (Glaab & Taube, 2022).

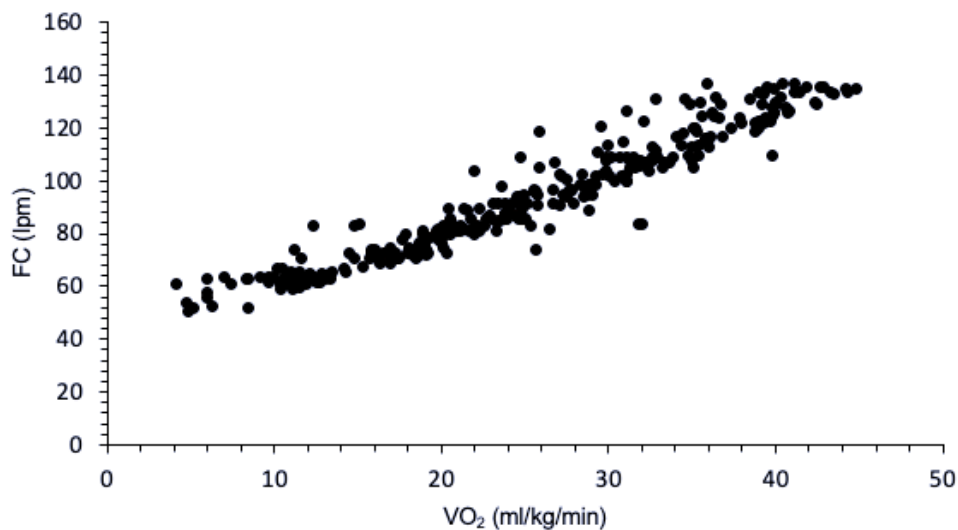
El RER también se relaciona con el metabolismo energético, así, valores próximos a 0,7 indican un metabolismo aeróbico y con predominio de lípidos como fuente de energía, Cuando el valor de RER se acerca a 1 la fuente de energía predominante serán los hidratos de carbono (Levy et al., 2009). El RER se ha utilizado para valorar el uso de lípidos y carbohidratos durante el esfuerzo progresivo y la flexibilidad metabólica de personas con síndrome metabólico (San-Millán & Brooks, 2018).

c) Variables cardiovasculares.

Durante un esfuerzo progresivo, que es el caso del protocolo empleado en esta tesis doctoral, la frecuencia cardíaca (FC) suele aumentar linealmente de acuerdo con el incremento de la carga de trabajo (Figura 8). El aumento tiende a ser de aproximadamente 10 latidos por minuto (lpm) por cada aumento de 1-MET (Manonelles et al., 2016); en personas con niveles elevados de condición física el aumento suele ser menor (Fletcher et al., 2013; Žumbakytė-Šermukšnienė et al., 2010). Ese aumento es debido a la activación del sistema nervioso simpático e inhibición del sistema nervioso autónomo (Balady et al., 2010).

Figura 8

Relación de la FC con el consumo de oxígeno.



Notas: Registro a cada 5 segundo durante una pERG de un participante del estudio; FC; frecuencia cardíaca; VO₂, consumo de oxígeno.

A medida que crece el esfuerzo los incrementos de la FC se hacen menores hasta finalizar la prueba y alcanzar la FC_{PICO} o FC_{MAX} de la prueba. Para considerar que una pERG ha sido máxima el índice de cronotropía debe alcanzar el 85% ($FC_{PICO}/FC_{MÁXIMA\ ESTIMADA} * 100$). La FC_{MAX} puede ser estimada teóricamente (FC_{MAXTEO}) mediante ecuaciones predictivas (Jones et al., 1985; Karvonen et al., 1957; Tanaka et al., 2001)

Se considera que la FC máxima (FC_{MAX}) disminuye en 1 latido por año transcurrido (Chicharro & Vaquero, 2003), y que una persona entrenada alcanza valores máximos de FC semejantes a los valores alcanzados por una persona no entrenada, pero el nivel de esfuerzo, o sea la carga de trabajo alcanzada a la que llega es mayor (Levy et al., 2009).

Durante la pERG, la incapacidad de aumentar correctamente la FC (déficit cronotrópico) y alcanzar el 85% de la FC_{MAX} estimada está asociada a un mayor riesgo de mortalidad en pacientes con ECV (siempre que no se haga uso de beta bloqueadores) (Balady et al., 2010).

Las dificultades de recuperación de la FC durante los primeros minutos de finalizar el esfuerzo (reducción inferior a 12 lpm después del primer minuto de recuperación) también se relacionan con mayor riesgo de mortalidad (Manonelles et al., 2016).

El índice entre el VO_2 y la FC se denomina pulso de O_2 y es un indicador del O_2 que se ha extraído en los tejidos a cada latido. Proporciona información sobre la eficiencia cardíaca y se relaciona con el volumen sistólico y gasto cardíaco ($Q = VS \times C(a-v) O_2$).

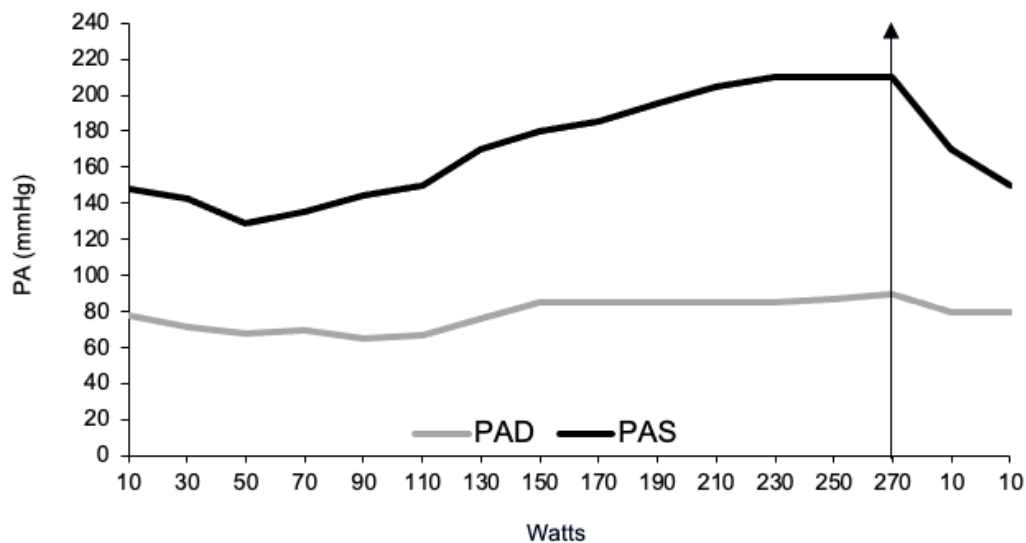
El pulso de O_2 aumenta con el incremento del esfuerzo aplanándose en los estadios finales. El pulso de O_{2PICO} puede alcanzar los 15-20mL O_2 /latido. Un pulso de O_{2PICO} bajo puede indicar dificultades de transporte (ECV, anemia) o de utilización del O_2 (miopatía) (Allison & Burdiat, 2010).

En esfuerzos progresivos máximos dinámicos, como el caso de la pERG de esta tesis doctoral, la presión arterial sistólica (PAS) presenta una elevación gradual según aumenta la intensidad del esfuerzo mientras que la presión arterial diastólica (PAD) se mantiene estable, aumenta poco o incluso disminuye ligeramente debido a una menor resistencia vascular periférica (Balady et al., 2010; Fletcher et al., 2013; Sietsema et al., 2020). En consecuencia, aumenta la presión diferencial (Figura 9).

En la recuperación del esfuerzo, la PAS puede descender bruscamente, debido a la vasodilatación periférica, y se mantiene a niveles inferiores a los iniciales durante unas horas (Korsager Larsen & Matchkov, 2016).

Figura 9

Relación entre presión arterial y la carga de trabajo.



Notas: Registro de la PA durante una pERG de un participante del estudio; PAS, presión arterial sistólica; PAD, presión arterial diastólica; ↑ punto máximo de la pERG.

d) Percepción subjetiva del esfuerzo.

La evaluación de la percepción subjetiva de intensidad de esfuerzo también es utilizada habitualmente durante la realización de pERG como indicador confiable de fatiga relativa (Balady et al., 2010). Las escalas de Borg (Borg, 1998) son unos de los instrumentos más utilizados para valorar la percepción subjetiva de intensidad del esfuerzo. Por ello, la escala de Borg se aplica tanto en el ámbito de la salud, como del deporte. Hay diferentes formatos de la escala, siendo la de puntuación de 6 a 20 más utilizada, ya que presenta una supuesta relación con la FC de esfuerzo, multiplicándola por 10 (Manonelles et al., 2016). Valores por encima de 18 representan un esfuerzo máximo y valores entre 15 y 16 representan un esfuerzo submáximo (Balady et al., 2010). También es muy conocida la escala en formato de 10 puntos (CR-10) (Borg, 1998). El uso de esta escala reducida está habitualmente indicado para valorar la sensación de fatiga en áreas específicas; muscular

(local) o cardiorrespiratoria (central). Por ejemplo, como la fatiga de cuádriceps en caso de pERG realizadas en cicloergómetro, o disnea de origen respiratorio (Manonelles et al., 2016).

e) ¿Esfuerzo máximo o submáximo?

Las pERG son una excelente herramienta que permiten cuantificar las limitaciones al ejercicio físico y que ayudan a determinar los puntos débiles o fuertes de la persona evaluada. Como se ha visto en el apartado anterior, las variables analizadas durante las pERG proporcionan información de la adaptación conjunta de los sistemas ventilatorio, cardiovascular y muscular.

Los datos obtenidos permiten evaluar los valores máximos alcanzados (W_{PICO} , VO_{2PICO} , VE_{PICO} , FC_{PICO} , índice de cronotropía) cuando el organismo es estimulado a su máxima capacidad y se evidencian los límites de las sinergias entre los sistemas del cuerpo.

Las pERG también promocionan información de niveles/puntos de intensidad de esfuerzo submáximo, por ejemplo, a nivel de los umbrales ventilatorios, identificados como el umbral ventilatorio 1 (VT_1) y el umbral ventilatorio 2 o punto de compensación respiratoria (VT_2 o RCP) (Balady et al., 2010; Sietsema et al., 2020).

Existen otros indicadores que son relativamente independientes del esfuerzo máximo; pendiente VE/CO_2 ; la pendiente de eficiencia de captación de oxígeno (OUES) (Baba et al., 1996) que se consideran como indicadores pronóstico de riesgo y sensibles a los cambios.

f) Riesgo cardiometabólico, EAI y pERG

Hasta el momento se ha evidenciado que son pocos los estudios (Guio de Prada, Ortega, Morales-Palomo, et al., 2019) que evalúan en detalle los efectos de una intervención HIIT sobre la adaptación a la pERG, excepto el VO_{2PICO} , en personas con síndrome metabólico o factores de riesgo cardiometabólico. Por ese motivo, se ha considerado interesante evaluar los efectos de una intervención de ejercicio físico semi-supervisado sobre la adaptación a una pERG en personas con riesgo cardiometabólico.

3. COORDINACIÓN CARDIORESPIRATORIA

Como se ha comentado en los apartados anteriores, el análisis de los datos obtenidos en las pERG mayoritariamente se centra en estudiar variables aisladas (VE, VO₂, FC y otras) y determinar sus valores en momentos puntuales de la prueba (valores máximos, umbrales). En algunas ocasiones se analiza la relación entre dos variables para estudiar las sinergias entre dos sistemas; por ejemplo, la pendiente VE/VCO₂ y el OUES. A pesar de las evidencias de la importancia de estos valores como factores pronóstico y diagnóstico, esta aproximación tiene limitaciones para explicar la dinámica de los procesos fisiológicos, como es la respuesta fisiológica y la adaptación de los sistemas durante el esfuerzo. Como han argumentado Balagué et al., (2020), la estrategia tradicional de análisis e interpretación de las pERG es insuficiente para proporcionar datos cualitativos de la dinámica de la coordinación intersistemas en la respuesta del organismo al esfuerzo.

En este contexto, diferentes autores (Balagué et al., 2016; Garcia-Retortillo et al., 2017; Garcia-Retortillo et al., 2019) han propuesto la aplicación del análisis de componentes principales (PCA) a las series temporales de distintas variables cardiorrespiratorias obtenidas durante el ejercicio físico.

El PCA fue formulado, inicialmente, por Karl Pearson (1901) que lo desarrolló a partir de los conceptos de la regresión. Años más tarde, el PCA fue modificado por Hotelling (1933) y posteriormente por Bro y Smilde (2014), que aporta un enfoque estadístico más multivariado. Los componentes principales (CP) se extraen en orden decreciente de importancia. Según el enfoque de Hotelling, el primer componente (CP₁) explica la mayor parte de la variancia, el segundo componente (CP₂) una parte menor, el tercer componente (CP₃) una parte aún menor, y así sucesivamente.

El PCA es una técnica estadística que sirve para reducir la dimensionalidad de datos multivariados, sin que haya pérdida de información de esos datos. Con el PCA es posible representar adecuadamente muchos datos con un número menor de variables. Los

componentes son contruidos a partir de las variables originales, o sea que el análisis permite transformar las variables originales, en nuevas variables (componentes), facilitando la interpretación de los datos (Bro & Smilde, 2014). Así, las variables originales que muestran incrementos y decrementos correlacionados, que comparten variancia, crean una variable coordinativa o componente principal (Garcia-Retortillo et al., 2017). El PCA refleja el grado de coincidencia de los patrones temporales, es decir, si el crecimiento o decrecimiento de estos está sincronizado estadísticamente. El PCA es un método potente y versátil capaz de proporcionar una visión general de datos multivariados complejos (Bro & Smilde, 2014). La idea de componentes principales puede extenderse para buscar representaciones no lineales de los datos que expliquen su estructura, o sea convierte varias variables correlacionadas en otras variables no correlacionadas linealmente (Mahmoudi et al., 2021).

Actualmente es posible evidenciar el uso del PCA en diferentes ámbitos de la ciencia, como; estudios epidemiológicos (Mahmoudi et al., 2021) y espectrometría química (Beattie & Esmonde-White, 2021) entre otros. En el ámbito de las ciencias de la actividad física y del deporte emerge el uso del PCA como técnica estadística para mejorar el análisis de la fatiga muscular durante acciones musculares cíclicas (Jesus et al., 2016), determinar la fatiga en diferentes series de ejercicios de fuerza (Brown et al., 2016), identificar características físicas en deportes colectivos que ayuden a la detección de nuevos talentos (Figueiredo et al., 2019), identificar indicadores técnico-tácticos del rendimiento en fútbol (Ugalde-Ramírez & Rodríguez-Porras, 2021). No obstante, es de especial interés para el autor de la presente tesis, el uso del PCA en el estudio de la adaptación al esfuerzo durante las pERG.

Balagué et al., (2016) y Garcia-Retortillo et al., (2017), proponen aplicar el PCA, como estrategia para reducir la dimensionalidad de la respuesta al esfuerzo identificando las variables que co-varían en el tiempo durante la pERG. Según Balagué et al., (2016) el número de CPs que se obtienen a partir del PCA de una pERG revela la dimensión, o el grado de coordinación cardiorrespiratoria (CRC). El concepto de CRC, hace referencia a la influencia

mutua de las oscilaciones cardiovasculares y respiratorias que conducen a la coordinación del sistema (Balagué et al., 2016; Garcia-Retortillo, Javierre, et al., 2019). El PCA refleja el grado de coincidencia de los patrones temporales de la respuesta fisiológica, es decir, si el crecimiento o decrecimiento de la respuesta está sincronizado estadísticamente.

La variancia total permite representar la evolución/patrón temporal de distintas variables cardiorrespiratorias con un número menor de variables coordinativas o CPs. En este sentido, un número bajo de CPs indica una mayor coordinación/sinergia del sistema; mientras que un mayor número de CPs indica menor coordinación/sinergia. El número de CPs varia cuando el sistema se reconfigura; como en la fatiga o por los efectos del entrenamiento deportivo.

Este análisis ha mostrado ser sensible para detectar efectos de la fatiga (Garcia-Retortillo et al., 2017; Garcia-Retortillo, Javierre, et al., 2019), adaptaciones específicas a programas de entrenamiento (Balagué et al., 2016; Garcia-Retortillo et al., 2019), modificaciones del estado fisiológico por exposición a la hipoxia (Gulyaeva et al., 2021), las particularidades de la adaptación al esfuerzo en poblaciones específicas (Oviedo et al., 2021; Papadakis et al., 2022) entre otros (Tabla 5).

Tabla 5

Estudios que han aplicado el análisis de componentes principales en pruebas ergoespirométricas.

Estudio	Participantes - Intervención	Resultados CRC
Balagué et al., (2016)	32 varones 3 grupos entrenamiento + 1 grupo control 6 semanas entrenamiento + 3 semanas de desentrenamiento	Grupos entrenamiento <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del número de CPs • No cambios en VO_{2PICO}. Cambios más sensibles que los parámetros estudiados habitual y probablemente los preceden.
García-Retortillo et al., (2017)	15 personas 2 pERG consecutivas en cicloergómetro 6 minutos pausa entre ellas	En la 2ª pERG <ul style="list-style-type: none"> • No cambios en W_{MAX}, VO_{2MAX} o VT. • Aumento del número de CPs. • Disminución del autovalor del CP_1 ($d = 1,08$)
Esquiús et al., (2019)	7 personas 3 pERG en tapiz separadas de 7 días Suplementación aceite oliva	Autovalores CP_1 más elevados en suplementación de aceite oliva y cargas moderadas ($d = 0,8$).
García-Retortillo, Javierre, et al., (2019)	25 adultos jóvenes 1 pERG en cicloergómetro Carga moderada vs carga elevada	Cargas de esfuerzo elevadas <ul style="list-style-type: none"> • Aumenta el número de CPs. • Disminuye el autovalor del CP_1
García-Retortillo, Gacto, et al., (2019)	20 personas 2 grupos entrenamiento: HIIT i Continuo (CONT) 6 semanas entrenamiento	<u>CONT</u> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el número de CPs en intensidades inferiores y superiores a la del punto de inflexión de la lactacidemia (LT). • Aumenta autovalor del CP_1, en intensidades superiores e inferiores de la del LT. <u>HIIT</u> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el número de CPs en intensidades superiores a la del LT. • Aumenta autovalor del CP_1, en intensidades superiores al LT.
Oviedo et al., (2021)	15 adultos con Síndrome de Down 15 adultos sin Síndrome de Down 1 pERG en tapiz	En el grupo con Síndrome de Down: <ul style="list-style-type: none"> • Mayor número de CPs. Atribuible a la PAS y la PAD. • Menor autovalor del CP_1 ($d = 1,47$).
Gulyaeva et al., (2021)	9 varones Entrenamiento en altitud (20 días) 2 pERG en cicloergómetro	Después de la estancia en altitud: <ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el número de CPs. • Aumenta el autovalor del CP_1.
Papadakis et al., (2022)	18 mujeres practican remo 9 expertas y 9 iniciantes 1 pERG	En el grupo iniciante: <ul style="list-style-type: none"> • Mayor número de CPs. Atribuible al cambio de la FEO_2. • Autovalor del CP_1 menores.

Notas: CONT, grupo de entrenamiento aeróbico continuo; CP_1 , componente principal 1; CPs, componentes principales; FEO_2 , fracción espiratoria de oxígeno; HIIT, grupo de entrenamiento aeróbico en intervalos de alta intensidad; LT, punto de inflexión de lactacidemia; PAD, presión arterial diastólica; PAS, presión arterial sistólica; pERG, prueba ergoespirométrica; VO_{2MAX} , consumo de oxígeno máximo; VO_{2PICO} , consumo de oxígeno pico; VT, umbral ventilatorio; W_{MAX} , carga de trabajo máxima.

Sin embargo, hasta donde el autor de esta tesis tiene conocimiento, este análisis aún no se ha realizado en poblaciones poco activas y con factores de riesgo cardiometabólico. Bajo esta óptica, aplicar el PCA en los datos recogidos durante las pERG en personas adultas que presentan factores de riesgo cardiometabólico, antes, después y a las 24 semanas de finalizar un programa de intervención de ejercicio físico semi-supervisado y asesoramiento sobre hábitos saludables puede ser una aportación interesante. Este análisis permitirá profundizar en el conocimiento de la dinámica de la adaptación al esfuerzo y comprobar si ésta se asocia con cambios del riesgo cardiometabólico, del estilo de vida, y/o de la condición física de las personas participantes en la intervención.

CAPITULO II – OBJETIVOS

1. Objetivo general

Analizar la respuesta fisiológica al esfuerzo físico en las pruebas ergoespirométricas progresivas y máximas en cicloergómetro, en personas adultas, que presentan factores de riesgo cardiometabólico, antes, después y a las 24 semanas posteriores a un programa de intervención con entrenamiento aeróbico en intervalos semi-supervisado y asesoramiento en comparación al entrenamiento aeróbico continuo.

2. Objetivos específicos

A- Analizar el comportamiento de los parámetros fisiológicos obtenidos en una prueba de esfuerzo ergoespirométrica, en concreto:

1. Parámetros fisiológicos máximos/pico de la prueba de esfuerzo:

- Carga de trabajo (Watts);
- Consumo de oxígeno - $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min);
- Presión arterial sistólica - PAS (mmHg);
- Presión arterial diastólica - PAD (mmHg);

2. Parámetros fisiológicos independientes del esfuerzo máximo de la prueba de esfuerzo:

- Carga de trabajo (W_{RCP}) en el punto de compensación respiratoria (RCP);
- $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_{2RCP}$), en el punto de compensación respiratoria (RCP);
- Pendiente de la eficiencia ventilatoria ($VE/\dot{V}CO_2$);
- Pendiente de la eficiencia de la captación de oxígeno (OUES).

B- Analizar la coordinación cardiorrespiratoria durante el esfuerzo mediante la extracción de los componentes principales a partir de la frecuencia cardíaca, la ventilación, la presión parcial de oxígeno y la presión parcial de dióxido de carbono.

C - Comparar los resultados obtenidos entre los diferentes momentos del programa y grupos de entrenamiento.

- Momento T0 (inicio de la intervención);
- Momento T1 (posterior a la intervención) – al finalizar las 16 semanas de ejercicio físico semi-supervisado y asesoramiento;
- Momento T2 (seguimiento) – a las 24 semanas de seguimiento.

3. Hipótesis

La hipótesis general es que, el entrenamiento aeróbico en intervalos (EAI) junto con asesoramiento para un estilo de vida saludable presenta mejores resultados en la respuesta fisiológica al esfuerzo progresivo y máximo en personas adultas poco activas y con uno o más factores de riesgo cardiometabólico, en comparación al entrenamiento aeróbico continuo (EAC) más asesoramiento o exclusivamente asesoramiento.

CAPITULO III – METODOLOGIA

Este proyecto de tesis se enmarca en el programa de intervención “*Eficàcia de l'exercici físic guiat i del assessorament per a la reducció del sedentarisme en el tractament del risc metabòlic; assaig clínic aleatori controlat*” (Programa BELLUGA'T de CAP a peus).

1. Diseño del estudio

Se trata de un ensayo clínico controlado aleatorizado, implementado en un centro de atención primaria, CAP Primer de Maig - Lleida, durante un período total de 10 meses (16 semanas de programa de entrenamiento físico semi-supervisado más asesoramiento para el cambio de hábitos y 24 semanas de seguimiento posterior a la finalización del programa) (Ensenyat et al., 2017). El estudio incluyó dos programas de entrenamientos semi-supervisados con dos diferentes dosis de intensidad y distribución del esfuerzo. Un grupo participó en un programa de entrenamiento aeróbico en intervalos (Grupo Aeróbico en Intervalos - GAI), otro grupo participó en un programa de entrenamiento aeróbico continuo (Grupo Aeróbico Continuo - GAC) y un tercer grupo participó en las actividades de asesoramiento, pero no recibió el programa de ejercicio físico (Grupo Control - GC). Todos los/las participantes de los tres grupos realizaron sesiones de educación y empoderamiento para el cambio de hábitos relacionado con un estilo de vida saludable.

2. Participantes

Para ser elegible, cada participante debía cumplir con los siguientes criterios de inclusión y ninguno de los criterios de exclusión.

Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión para poder participar en el estudio fueron:

- Edad de 30 a 55 años.
- Tener uno o más factores de riesgo para el síndrome metabólico:
 - Circunferencia de la cintura > 94,5 cm para los hombres y > 89,5 cm para las mujeres.
 - Presión arterial sistólica \geq 130 mm Hg, o presión arterial diastólica \geq 85 mm Hg.
 - Triglicéridos en plasma \geq 150 mg/dL.
 - HDLc en plasma < 40 mg/dL para los hombres y < 50 mg/dL para las mujeres.
 - Glucemia en ayunas \geq 100 mg/dL.
- Bajo nivel de actividad física (realizar menos de 150 minutos/semana de actividad física moderada a vigorosa y/o no haber participado en ningún programa de ejercicio físico supervisado por lo menos durante las últimas 24 semanas).
- Aceptar y firmar el consentimiento informado por escrito (Apéndice A).
- Aceptar la asignación al azar del grupo de estudio.

Criterio de exclusión

Los criterios de exclusión para poder participar en el estudio fueron:

- Obesidad mórbida (Índice de masa corporal (IMC) \geq 40).
- Una historia clínica pasada o actual de enfermedad/trastorno cardiovascular, respiratorio, neuromuscular o psiquiátrico significativo.
- Enfermedades o trastornos que puedan contraindicar la práctica de ejercicio físico o la prueba de esfuerzo (Balady et al., 2010).

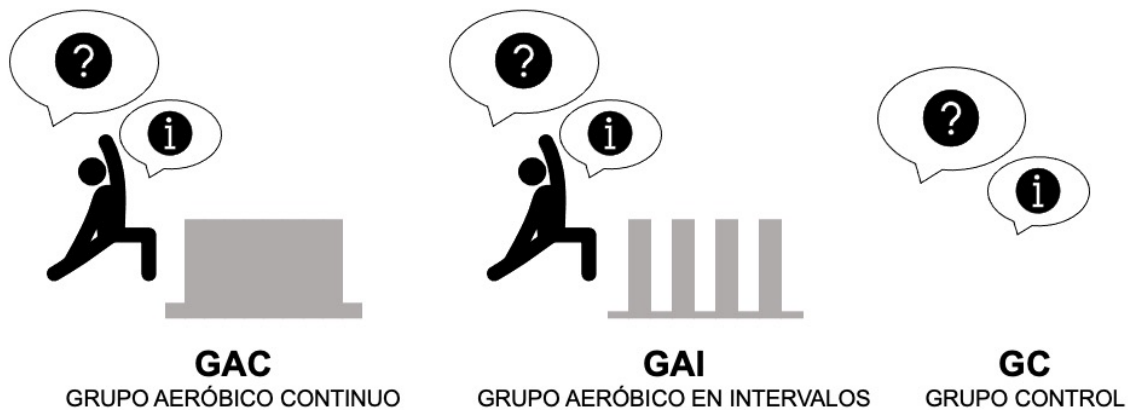
Inscripción, selección y asignación

Los/las participantes fueron reclutados a través de anuncios en los medios de comunicación (periódicos, radio) y a través del personal sanitario de los centros de atención primaria (CAP) de Lleida. Las personas interesadas fueron invitadas a una reunión informativa, en la que se detallaron los requisitos y expectativas del estudio. La elegibilidad potencial fue confirmada por entrevista, obteniendo información sobre la edad, actividad física pasada y actual, antecedentes médicos personales y uso de medicamentos. Antes de la inclusión definitiva en el estudio, a cada participante elegible que deseaba participar en el mismo, se le pidió firmar el consentimiento informado por escrito.

Una vez firmado el consentimiento informado, cada participante fue asignado a uno de los tres grupos de estudio (grupos GAI, GAC o GC), utilizando una lista aleatoria generada por ordenador, que asignó al azar el número de identificación del participante a un grupo de estudio (Figura 10).

Figura 10

Distribución de participantes en grupo de estudio.



Notas: GAC, grupo aeróbico continuo; GAI, grupo aeróbico en intervalos; GC, grupo control; i, sesiones de asesoramiento individual; ?, sesiones de asesoramiento grupales.

Debido a la naturaleza de la intervención, el cegamiento de cada participante no fue posible, ya que cada uno de ellos fue consciente del grupo de tratamiento al que fueron asignados. Sin embargo, durante el análisis de los datos, los investigadores fueron cegados en relación con el grupo de tratamiento asignado a cada participante.

A causa de las limitaciones de espacio y de personal para alcanzar un número mínimo de participantes fue necesario realizar el programa de intervención en tres promociones. La primera promoción inició la intervención (momento T0) en enero del 2016, la segunda en septiembre del 2016 y la tercera en febrero del 2017.

Todas las promociones finalizaron la fase de intervención (momento T1) a las 16 semanas de su inicio, y la fase de seguimiento (momento T2) a las 24 semanas de finalizar dicha intervención. En cada una de las promociones los/las participantes fueron distribuidos aleatoriamente entre los grupos de intervención (GAI, GAC y GC).

3. Intervención

El estudio consistió en 16 semanas de intervención y 24 semanas de seguimiento. Durante la fase de intervención todos los grupos de estudio (GAI, GAC y GC) recibieron educación y asesoramiento para el cambio hacia un estilo de vida saludable. Asimismo, los grupos GAI y GAC participaron en sendos programas de ejercicio físico semi-supervisado.

El programa de asesoramiento que se ofreció a todos los grupos de estudio consistió en seis sesiones grupales de 50 minutos de duración y tres entrevistas individuales de 40-50 minutos de duración (Ensenyat et al., 2017, 2020).

El programa de ejercicio semi-supervisado ofrecido a los grupos GAI y GAC consistió en 16 sesiones grupales de ejercicio físico supervisado de 50 minutos de duración y 32 sesiones de ejercicio físico autoadministradas.

Programa de asesoramiento

El objetivo del programa de asesoramiento era 1) ofrecer consejos sobre un estilo de vida saludable, incluida la actividad física, el sedentarismo y los hábitos alimentarios, 2) dar la oportunidad de intercambiar experiencias y 3) ayudar a los/las participantes a tomar conciencia de la importancia de un estilo de vida saludable y de la necesidad de autogestión. También se introdujeron estrategias para el cambio de comportamiento como una forma de empoderar a los/las participantes. Las sesiones se basaron en el modelo transteórico de cambio de comportamiento (Prochaska & DiClemente, 1983) y en los enfoques de la entrevista motivacional (Miller & Rollnick, 2013). El contenido específico y las estrategias psicoconductuales de cada sesión se han descrito con más detalle en una publicación anterior (Ensenyat et al., 2017). Las sesiones fueron realizadas en el centro de atención primaria de salud por una enfermera entrenada en estilos de vida saludables y estrategias psicológicas para el cambio de comportamiento. Como material del programa se utilizó una guía interactiva previamente validada (Espigares-Tribo & Ensenyat, 2021).

Programa de entrenamiento físico semi-supervisado

Expertos en ejercicio físico supervisaron los programas de ejercicio físico y las sesiones de entrenamiento. El objetivo del programa de ejercicio semi-supervisado era empoderar a los/las participantes con respecto a sus propios hábitos de ejercicio.

El protocolo de intervención diseñado por Ensenyat et al. (2017), incluyó dos programas de entrenamiento semi-supervisados, con dos diferentes dosis de intensidad.

Uno de los grupos de estudio participó en un programa de entrenamiento aeróbico en intervalos (Grupo Aeróbico en Intervalos - GAI), donde el objetivo era realizar 4 bloques de 4 minutos de esfuerzo a una intensidad de 80% del VO_{2PICO} registrado en la pERG inicial, con pausas de 2 minutos a la intensidad de 60% del VO_{2PICO} . La programación de las primeras sesiones fue adaptada para que todos los/las participantes pudiesen realizar dichas sesiones.

Otro de los grupos participó en un programa de entrenamiento aeróbico continuo (Grupo Aeróbico Continuo - GAC), donde realizó las sesiones de entrenamiento a una intensidad de 60% del VO_{2PICO} previamente evaluado en la pERG, y con una duración global de 40 minutos.

El tercer grupo de estudio era el grupo de control concomitante que no participó en las sesiones de ejercicio físico semi-supervisado (Grupo Control - GC).

La distribución de las sesiones según el volumen y la intensidad a lo largo de las semanas se muestra de forma detallada en la Tabla 6. Con la finalidad de empoderar a los/las participantes, las sesiones de ejercicio físico supervisado fueron disminuyendo a lo largo de la fase de intervención; mientras que la frecuencia de las sesiones autoadministradas fue aumentando.

Las 16 sesiones de ejercicio físico supervisado fueron administradas por un profesional graduado en ciencias de la actividad física y del deporte. Independiente del grupo

de estudio, las sesiones de entrenamiento tuvieron una duración de 50 minutos con la siguiente distribución:

- **Introducción:** momento inicial de la sesión de entrenamiento que incluye la bienvenida y la exposición de los objetivos del trabajo a realizar;
- **Calentamiento:** generalmente realizado con alguna actividad grupal;
- **Parte principal:** el protocolo específico según el grupo de estudio GAI o GAC;
- **Vuelta a la calma:** realización de estiramientos;
- **Conclusión:** momento de reflexión y soporte de dudas sobre cómo realizar las sesiones autoadministradas.

Las 16 sesiones fueron realizadas en las instalaciones del centro deportivo EKKE, en la ciudad de Lleida.

Además de las 16 sesiones presenciales y administradas por un profesional responsable, el protocolo del programa constaba de 32 sesiones de entrenamiento autoadministradas, que cada participante debería realizar de manera autónoma. Las sesiones autoadministradas se adaptaban al grupo de estudio GAI o GAC que correspondía a cada participante.

Cumplimiento del programa

Se registró la asistencia a las sesiones ofrecidas (sesiones del programa de asesoramiento y sesiones de ejercicio supervisado) para evaluar el cumplimiento del programa. La asistencia igual o superior al 80% correspondió a un buen cumplimiento, la asistencia entre el 50% y el 79% indicó un cumplimiento moderado, mientras que una asistencia inferior al 50% correspondió a un cumplimiento deficiente.

El cumplimiento de las sesiones autoadministradas se determinó preguntando a los/las participantes durante sus sesiones de asesoramiento.

Tabla 6

Distribución de la carga de entrenamiento según el grupo de intervención.

Nº de semanas	Número de sesiones supervisadas / autoadministradas	Vol. de trabajo (Rep. x tiempo)	Intensidad (%VO ₂ PICO)	GAI		Tiempo total de trabajo	GAC	
				Recuperación activa (tiempo)	Intensidad de rec. (%VO ₂ PICO)		Intensidad (%VO ₂ PICO)	Tiempo total de trabajo
1	2 / 1	16 x 1'	80	30''	60	24'	60	40'
2	2 / 1	8 x 2'	80	1'	60	24'	60	40'
3	2 / 1	5 x 3'	80	2'	60	25'	60	40'
4	2 / 1	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
5	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
6	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
7	0 / 3	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
8	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
9	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
10	0 / 3	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
11	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
12	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
13	0 / 3	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
14	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
15	0 / 3	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'
16	1 / 2	4 x 4'	80	2'	60	24'	60	40'

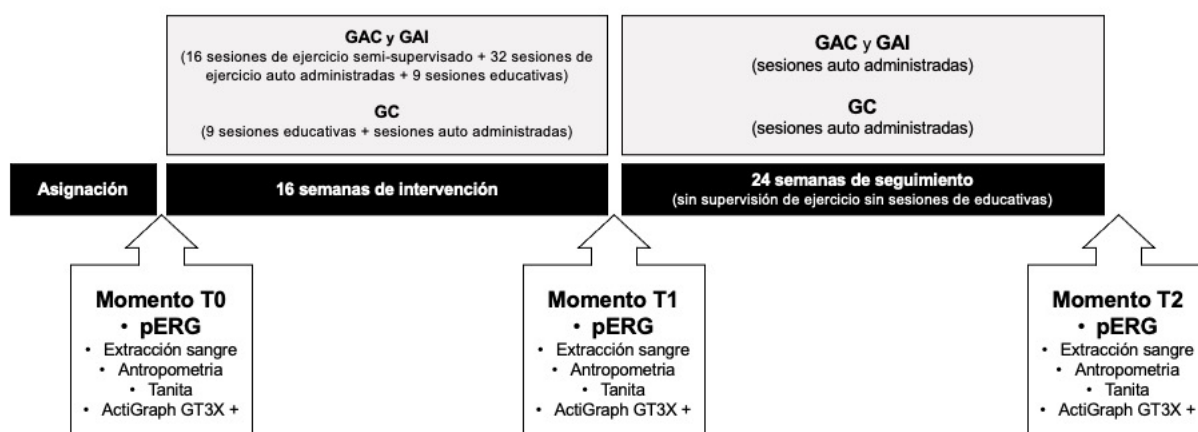
Notas: %VO₂pico, porcentaje de consumo de O₂ pico; GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, grupo aeróbico en intervalos; Nº, número; Rec., recuperación; rep, repeticiones; Vol., Volumen.

Efectos de la intervención - Calendario de evaluaciones

Con la finalidad de valorar los efectos del programa de intervención se tomaron datos (evaluaciones) antes de empezar la intervención (momento T0 = 0 semanas) y al finalizar el programa de intervención (asesoramiento + ejercicio semi-supervisado) (momento T1 = 16 semanas). Con el fin de valorar la persistencia de los efectos a medio plazo se tomaron de nuevo datos a las 24 semanas de la finalización de la fase de intervención (momento T2).

Figura 11

Diseño del flujo de la intervención.



Notas: GAC, grupo de ejercicio aeróbico continuo; GAI, grupo de ejercicio aeróbico en intervalos; GC, grupo de asesoramiento control; Momento T0, pERG inicial; Momento T1, pERG posterior a la intervención de ejercicios semi-supervisado; Momento T2, pERG al final de la intervención.

Todas las evaluaciones fueron divididas en dos citas. La primera cita tuvo lugar en las instalaciones del Centro de Atención Primaria 1r de Maig (Lleida) y se realizaron las siguientes acciones:

- Extracción de muestra de sangre en ayunas para la determinación de los niveles plasmáticos de glucosa y lípidos.
- Medidas antropométricas (masa corporal, altura, circunferencia de cintura y circunferencia de cadera).
- Colocación de acelerómetros en la cintura e instrucciones sobre su uso.

En la segunda cita, que tuvo lugar en las instalaciones del Laboratori de Valoració Funcional del Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya - INEFC campus de Lleida, se realizaron las siguientes acciones:

- Registro del electrocardiograma (ECG) de reposo en decúbito supino y medición de la presión arterial (PA) en reposo y posición sentada.
- Realización de la prueba ergoespirométrica, progresiva y máxima, en cicloergómetro.

La finalidad de esta tesis es analizar los efectos de un programa de ejercicio físico semi-supervisado junto con asesoramiento sobre la respuesta fisiológica a la pERG. Por ello, a continuación, no se sigue el orden cronológico de toma de datos. En primer lugar, se describe el protocolo de la prueba ergoespirométrica realizada y las variables analizadas, y se deja para más adelante, la descripción de los procedimientos empleados para las variables de riesgo metabólico y los hábitos de actividad física y alimentación.

4. Protocolo de la pERG

Para la realización de la pERG se utilizó un cicloergómetro (Monark 828E, Monark, Suecia) que se ajustó a las medidas de cada participante. Se utilizó un cicloergómetro que permite proporcionar mediciones más estables durante el esfuerzo y porque durante la fase de intervención la mayoría de las sesiones del programa de entrenamiento fueron realizadas en bicicletas estáticas, y por lo tanto la transferencia de la frecuencia cardíaca prescrita podía ser más válida.

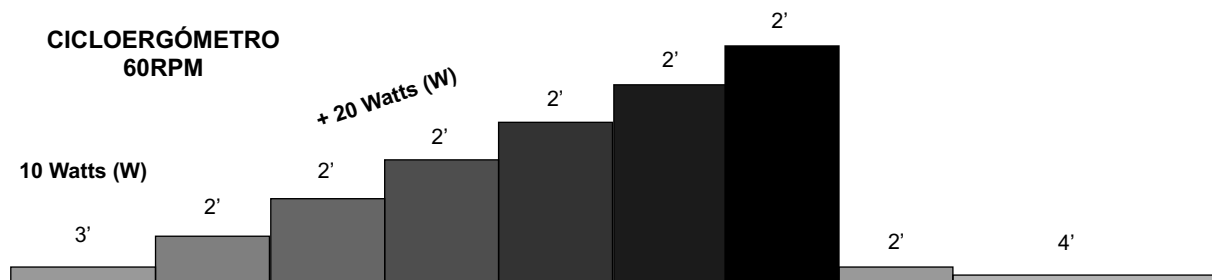
Durante toda la prueba, los/las participantes debían mantener una cadencia constante de 60 rpm. La prueba se inició con una fase de calentamiento de 2 minutos a 10 watts (W) de potencia. A continuación, se fue incrementando el esfuerzo con incrementos de 20 W cada

dos minutos hasta que el/la participante indicase que no podía seguir (a demanda por síntomas de fatiga), o si el/la participante no podía mantener la cadencia preestablecida (criterio objetivo de maximalidad). La fase de recuperación consistió en 2 minutos de recuperación activa a la potencia seleccionada por cada participante y 4 minutos de recuperación pasiva con el/la participante sentado/a en el cicloergómetro.

La realización de la pERG se ejecutó con precaución para la seguridad de cada participante, por tratarse de un esfuerzo máximo. En ocasiones, durante la realización de la pERG, algunos participantes del estudio presentaron signos de mala adaptación al esfuerzo, cómo los citados anteriormente por Gibbons y colaboradores (Gibbons et al., 2002), siendo por lo tanto la prueba interrumpida por los investigadores.

Figura 12

Protocolo de la pERG en cicloergómetro.



Notas: 2', dos minutos de duración del estadio; 3', tres minutos iniciales de calentamiento; 4', cuatro minutos de recuperación pasiva; RPM, revoluciones por minuto.

Durante la pERG se registraron distintas variables ventilatorias, cardiovasculares y del intercambio de gases para valorar la respuesta fisiológica al esfuerzo incremental.

Durante la prueba los/las participantes respiraban a través de una máscara oro-nasal Hans Rudolph (Hans Rudolph, Kansas EEUU) ajustada a su rostro y se utilizó el dispositivo Oxycon Mobile (Oxycon Mobile, Carefusion, Alemania), para la medida de las variables de ventilación y análisis de gases. Antes de cada prueba se introdujeron las condiciones

ambientales (presión barométrica, temperatura y humedad). A continuación, para cada prueba se procedió a calibración, del flujo y de la sensibilidad de los gases, del dispositivo.

Las variables obtenidas fueron la ventilación (VE), el consumo de oxígeno (VO_2), el volumen espirado de dióxido de carbono (VCO_2), equivalentes ventilatorios, las presiones parciales de O_2 y CO_2 en el aire espirado, el RER y también la FC.

Todas las variables ergoespirométricas (VE, VO_2 , VCO_2) fueron almacenadas automáticamente en el software correspondiente (LAB Manager v 5.32 Carefusion Germany 234 GmbH), a excepción de la presión arterial y la percepción subjetiva de esfuerzo que fueron registradas en la hoja de recogida de datos (Apéndice B).

La frecuencia cardiaca se registró durante el esfuerzo y en la fase de recuperación utilizando un monitor de frecuencia cardiaca Polar 610s (Polar Electro YO, Kempele, Finlandia). Los datos eran enviados al dispositivo (Oxycon Mobile (Oxycon Mobile, Carefusion, Alemania), y almacenados junto a las variables de ventilación y análisis de gases. Asimismo, durante la prueba se controló la señal electrocardiográfica (ECG) con un dispositivo electrocardiógrafo (Kaunas Load System, Kaunas, Lituania). Las derivaciones electrocardiográficas se situaron de acuerdo con la colocación de Mason-Likar (Dunbar & Saul, 2009).

La presión arterial sistólica (PAS) y presión arterial diastólica (PAD) se midieron utilizando un dispositivo manual (Omrom M, Omron Healthcare Europe B.V. Hoofddorp, Países Bajos). La presión arterial se tomó en reposo, cada 2 minutos (en los últimos 30 segundos de cada periodo de esfuerzo), y a los 2, 4 y 6 minutos de la fase de recuperación.

Al final de cada periodo de esfuerzo y antes de cambiar la resistencia, se pidió a los/las participantes que indicaran su percepción subjetiva de esfuerzo (RPE), mediante la escala de 10 puntos (CR-10) de Borg (Borg & Kaijser, 2006; Borg, 1998). La percepción subjetiva de esfuerzo también se registró antes de la prueba y en la fase de recuperación.

5. Variables obtenidas en las pERG

Valores máximos y submáximos

Las variables registradas durante la realización de la pERG y las variables calculadas, derivadas de estos registros, para cada persona en los diferentes momentos de la intervención se muestran en la Tabla 7.

Las variables analizadas se han escogido por la importancia de la información que aportan, como indicadores de la integración de la respuesta fisiológica de diferentes sistemas y, como valores de referencia en el ámbito de la salud por su utilidad como factores pronóstico y diagnóstico.

El índice de cronotropía se utilizó como indicador de maximalidad en relación con la capacidad máxima del sistema cardiovascular para adaptarse al esfuerzo. Se consideró que, el esfuerzo se podía calificar como un esfuerzo máximo/satisfactorio si la persona alcanzaba en la pERG un índice de cronotropía superior al 85%. Se calcula a partir de la FC teórica y la FC de reserva. Se utiliza la siguiente ecuación (Balady et al., 2010):

$$\text{Cronotropía} = (FC_{(\text{máxima real})} - FC_{(\text{reposo})}) / (FC_{(\text{máxima teórica})} - FC_{(\text{reposo})}) * 100$$

La presión arterial media (PAM) se utilizó como indicador global de la presión arterial a lo largo del ciclo cardíaco. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PAM = PAS + (2 \times PAD) / 3$$

Para determinar la eficiencia ventilatoria (pendiente VE/VCO₂) se realizó un análisis de regresión lineal de la relación entre la ventilación (VE) y la producción de dióxido de carbono (VCO₂) con los datos de la pERG completa (Arena et al., 2003), donde *a* es la pendiente de la relación VE/VCO₂.

$$VE \text{ (mL/min)} = (a \text{ VCO}_2 \text{ (mL/min)}) + b$$

La eficiencia de captación de oxígeno (OUES) se determinó realizando una regresión lineal de la relación entre el VO_2 y el logaritmo de la VE con los datos de toda la pERG (Baba et al., 1996), donde a representa el incremento de VO_2 asociado al incremento de la VE.

$$VO_2 \text{ (mL/min)} = (a \log^{10} VE \text{ (L/min)}) + b$$

La capacidad de ejercicio a nivel submáximo se estimó a partir del segundo umbral ventilatorio (VT2) o punto de compensación respiratoria (RCP) según los criterios establecidos por Balady y Sietsema (Balady et al., 2010; Sietsema et al., 2020). Para este punto se determinaron la carga de trabajo (W_{RCP}), el VO_2 (VO_{2RCP}) con relación al peso ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), y como porcentaje en relación con el VO_{2PICO} (%) (Tabla 7).

Dos investigadores determinaron de forma independiente el RCP para cada pERG de cada participante en el estudio. Los criterios para establecer el RCP fueron identificar el punto en el que se produce una elevación concomitante y sostenida de los equivalentes ventilatorios (VE/VO_2 y VE/VCO_2) que se confirma con una disminución mantenida de la presión parcial de la $P_{ET}CO_2$ tras observarse una meseta (Beaver et al., 1986; Sietsema et al., 2020). Posteriormente se compararon los resultados del análisis de cada investigador y, en caso de discrepancias entre ambos se discutieron y consensuaron.

Tabla 7

VARIABLES OBTENIDAS EN LAS pERG.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
VARIABLES OBTENIDAS EN EL PUNTO DE ESFUERZO MÁXIMO	
Potencia (W)	La carga/ potencia de trabajo máxima medida en el cicloergómetro en watts.
VO_{2PICO} (mL/kg/min)	Se ha medido a través del VO ₂ , según criterio de finalización de la pERG.
VE_{PICO} (L/min)	Registrada la VE respiración a respiración durante toda la pERG y expresada en litros ventilados / minuto.
RER_{PICO}	Obtenido de la relación entre la producción de CO ₂ y el consumo de O ₂ .
BORG_{PICO}	Según escala CR-10 (Borg)
FC_{PICO} (lpm)	Mayor valor registrado en la pERG con el monitor de FC.
Cronotropía (%)	Según ecuación mejor explicada en el texto.
VO₂/FC (mL/l)	Relación obtenida a partir del registro de las variables supra citadas.
PAS_{PICO} (mmHg)	Mayor valor registrado en la pERG con el esfigmomanómetro.
PAD_{PICO} (mmHg)	Mayor valor registrado en la pERG con el esfigmomanómetro.
PAM_{PICO} (mmHg)	Calculada según ecuación a partir del registro de las variables supra citadas.
Otras variables registradas durante la pERG	
EqO₂	Cantidad de aire ventilada para consumir 1 L de O ₂ . Alcanza valores entre 20-30 L.
EqCO₂	Cantidad de aire ventilada para eliminar 1 L de CO ₂ . Alcanza valores entre 25-30 L.
P_{ET}O₂	Presión de O ₂ al final de cada espiración.
P_{ET}CO₂	Presión de CO ₂ al final de cada espiración.
Índices calculados	
Pendiente VE/VCO₂	Regresión lineal de la relación entre la ventilación y la producción de dióxido de carbono, valores normales deben estar entre 25-30.
OUES	Relación entre el VO ₂ y el logaritmo 10 de la VE, valores entre 1 y 4, cuanto mayor más favorable a la función fisiológica.
Valores punto de compensación respiratoria	
Potencia a RCP (W_{RCP})	La carga/ potencia de trabajo máxima medida en el cicloergómetro en vatios en el RCP.
VO_{2RCP} (mL/kg/min)	Consumo de oxígeno en el RCP, medido con analizador de gases.
VO_{2RCP} (% del VO_{2PICO})	Consumo de oxígeno en el RCP, relativo al % del VO _{2PICO} .
VE_{RCP} (L/min)	Fue registrada la VE respiración a respiración durante toda la pERG y expresada en litros de aire ventilados / minuto.

Notas: %, porcentaje; BORG, percepción subjetiva de intensidad de esfuerzo; Cronotropía, índice de cronotropía; FC, frecuencia cardiaca; kg, kilogramo; l, latido; L, litros; min, minuto; mL, mililitros; OUES, pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno; PAD, presión arterial diastólica; PAM, presión arterial media; PAS, presión arterial sistólica; pERG, prueba ergoespiométrica; pVO₂, porcentaje relacionado con el VO_{2PICO}; RCP, punto de compensación respiratoria; RER, cociente respiratorio; VCO₂, producción de dióxido de carbono; VE, ventilación; VO₂, consumo de oxígeno; W, carga de trabajo/potencia.

Coordinación cardiorrespiratoria (CRC)

Para el estudio de la coordinación cardiorrespiratoria (CRC) se aplicó un análisis de componentes principales (PCA). El análisis de CPs se realizó a partir de las series temporales obtenidas en las pERG. Para cada participante se analizaron las pERG realizadas en los momentos T0, T1 y T2. En total se analizaron 173 pruebas. Las variables que se incluyeron en el análisis de CPs fueron la VE, las $P_{ET}O_2$ y $P_{ET}CO_2$ y la FC que habían sido registradas en intervalos de 5 s durante las pERG. Las variables como los equivalentes respiratorios, el cociente respiratorio, el pulso de oxígeno, la producción de CO_2 y el consumo de O_2 se excluyeron del análisis por su relación matemática con las anteriores (Balagué et al., 2016). También se excluyeron los datos de presión arterial (PAS, PAD o PAM) por no disponer de una serie temporal con intervalos suficientemente cortos. Los datos de presión arterial se habían registrado manualmente cada 2 minutos.

La idoneidad de la implementación del análisis de CPs, se analizó con la prueba de esfericidad de Bartlett y el índice KMO de Kaiser-Mayer-Olkin (Denis, 2016) en cada participante y prueba.

El número de CPs se determinó mediante el criterio de Kaiser-Gutmann (Jolliffe, 2002) que considera significativos los CPs con un autovalor (*eigenvalues*) igual o superior a 1. El autovalor de cada componente principal se indica en porcentaje de la variancia total. Cuanto mayor es este porcentaje; mayor es la coordinación de las variables incluidas en ese componente.

El primer componente (CP_1) siempre es el que representa la mayor proporción de la variancia total. En este estudio para el análisis de la CRC se han considerado el número de componentes principales, los autovalores y el peso de las variables incluidas en el CP_1 .

6. Riesgo metabólico y estilo de vida

Índice de riesgo metabólico

Se calculó el índice global de riesgo de síndrome metabólico (MetSSS), según lo descrito por Wiley y Carrington (2016). La puntuación contiene seis factores de riesgo: circunferencia de la cintura (CC), niveles de colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDLc), niveles de triglicéridos (TG), glucemia, presión arterial sistólica (PAS) y la presión arterial diastólica (PAD).

La CC se midió por triplicado siguiendo las pautas de la OMS (World Health Organization, 2011). Las muestras de sangre para determinar los niveles plasmáticos de HDLc, TG y glucosa se obtuvieron después de un ayuno nocturno y se analizaron con métodos automatizados en el hospital universitario Arnau de Vilanova de Lleida. La presión arterial (PA) se midió a nivel de la arteria braquial del brazo dominante utilizando un dispositivo automatizado (Omron M, Omron Healthcare Europe B.V. Hoofddorp, Países Bajos), con el participante en una posición sentada relajada.

Hábitos de actividad física

Los hábitos de actividad física y el comportamiento sedentario se evaluaron objetivamente utilizando el acelerómetro ActiGraph GT3X+ (ActiGraph LLC, Pensacola, FL, EE. UU.) durante siete días consecutivos. Los acelerómetros se colocaron lateralmente en la cintura de cada participante y se sujetaron con un cinturón elástico. Se indicó a los/las participantes que usaran el acelerómetro todo el día, incluso durante el sueño, y que completaran un registro de actividad de 7 días en el que especificaron las horas de despertarse y acostarse. Se programaron acelerómetros para registrar el movimiento en intervalos de 60 s. Los datos de los acelerómetros se descargaron y analizaron con el software ActiLife 6.0 (ActiGraph, Pensacola, FL, EE. UU.). Las horas de sueño y los episodios de 20

minutos con recuentos de 0 se excluyeron del análisis después de verificar el registro de actividad de 7 días.

Los datos se analizaron para generar un índice general de actividad física (expresado como magnitud vectorial (VM) en recuentos por minuto (CPM) y el porcentaje de tiempo dedicado a realizar diferentes niveles de actividad física. Los puntos de corte para categorizar la intensidad del movimiento se definieron de la siguiente manera: comportamiento sedentario (SB) (< 100 CPM); actividad física ligera (LPA) (100 a 2019 CPM) y actividad física moderada a vigorosa (MVPA) (> 2020 CPM) (Troiano et al., 2008).

Hábitos de alimentación

En cada evaluación, se completó un registro dietético de 24 horas de tres días para monitorizar los hábitos dietéticos de cada participante. Dos de estos días eran entre semana, mientras que el otro correspondía a un día de fin de semana. Se utilizó el software PCN-CSNIS 1.0 para analizar los registros dietéticos.

Se calculó el índice de alimentación saludable (HEI: Healthy Eating Index) para evaluar el estado dietético del participante (Basiotis et al., 2002).

Características demográficas

También se registraron las características sociodemográficas, la historia clínica y el tratamiento farmacológico de los/las participantes.

7. Análisis estadístico

La principal finalidad del proyecto Bellugat era analizar la eficacia de las intervenciones en términos asociados a los factores de riesgo metabólico, estilo de vida y condición física. Con relación a los objetivos de la presente tesis, para determinar el tamaño de la muestra para predecir los cambios de la CRF se utilizaron los resultados obtenidos por Tjønnå et al., (2008) en una intervención de ejercicio físico supervisado dirigida a personas con síndrome

metabólico. Se tomó como referencia el $VO_{2\text{pico}}$ del grupo control (media basal: 32,3 mL/kg/min; DE: 3,4 mL/kg/min; d : 0,46) y se utilizó el programa G*Power (Faul et al., 2007) para el cálculo del tamaño muestral. Para detectar los cambios previstos con una hipótesis bilateral, un tamaño previsto del efecto de $d = 0,46$, un riesgo α de 0,05, una potencia del 80%, y medidas repetidas en 3 ocasiones y 3 grupos de estudio; el número estimado de participantes es de 48 personas. En este supuesto se requieren 16 personas por grupo. Con la finalidad de minimizar las pérdidas experimentales se incrementó el número de participantes por grupo en 20% (hasta 21 participantes/grupo). Se consideró que una muestra total de 62 personas era suficiente para evaluar las hipótesis planteadas en relación con la CRF.

Asimismo, Balagué et al., (2016) determinaron que estudios de CRC muestran efectos moderados a grandes ($d = 1,5$ entre grupo de entrenamiento aeróbico y grupo control), ($d = 0,8$ entre el grupo control y el de fuerza; y ($d = 0,7$ entre el grupo de entrenamiento aeróbico y el grupo de entrenamiento mixto)). Si de forma retrospectiva se estima el tamaño de la muestra para la detectar los cambios de la CRC y se considera un tamaño del efecto de $d = 0,7$; un riesgo α de 0,05 y una potencia ($1-\beta$) de 0,80; se obtiene un tamaño estimado de la muestra de 15 personas el cual es inferior al tamaño muestral de la presente tesis.

Para el estudio de los datos obtenidos se llevó a cabo un análisis preliminar para detectar cualquier error de la base de datos y verificar la normalidad de los datos (prueba de Shapiro-Wilks); lo que se hizo para la totalidad de participantes y para cada grupo de estudio.

El análisis de datos se realizó por intención de tratar (ITT) para la totalidad de participantes que completaron la prueba ergoespirométrica inicial (T0). En los casos en los que faltaba algún dato (missing data) en los momentos T1 y/o T2, éstos fueron reemplazados por los datos registrados en la evaluación anterior, usando la técnica de la última observación (LOCF).

Las variables categóricas se expresan como número de casos (n) y porcentajes (%) y las variables continuas se expresan como media y desviación estándar (DE), a menos que se especifique lo contrario.

La comparación inicial de los grupos se realizó a partir de la prueba de chi-cuadrado (o la prueba exacta de Fisher) para las variables categóricas y la prueba de Kruskal-Wallis para variables cuantitativas (continuas u ordinales), siendo el nivel de significación establecido en $p < 0,05$.

Para el análisis del efecto de la intervención se establecieron dos marcos temporales: eficacia, al final de la intervención de 16 semanas de entrenamiento semi-supervisado (T1) y persistencia, al final de la fase de seguimiento (T2). Para ambos (T1 y T2), el efecto se calculó como el cambio respecto a los valores iniciales (T0), tanto en valores absolutos, como en porcentaje.

El efecto de la intervención (T0, T1 y T2) en las diferentes variables se comprobó mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para medidas repetidas. Para valorar la existencia de diferencias entre los tres grupos de estudio se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. En este caso cuando existieron diferencias entre grupos se compararon de 2 en 2 mediante la prueba de U de Mann-Whitney.

Así mismo, se calculó el tamaño del efecto (d) para determinar las diferencias estandarizadas medias. El tamaño del efecto se calculó a partir de la diferencia entre las medias de cada grupo, o momento, y se dividió entre la desviación estándar combinada. Los valores de 0,2 a <0,5 representan diferencias pequeñas; de 0,5 a 0,8 diferencias moderadas; y, valores superiores a 0,8, diferencias grandes (Cohen, 1992).

En todos los casos el nivel de significación se estableció en 0,05. Para todos los análisis estadísticos se usó el software (SPSS) v17 (SPSS Institute Inc., IL, EUA).

8. Criterios éticos

El estudio se llevó a cabo de conformidad con los principios de la Declaración de Helsinki (Cook et al., 2003) y las revisiones subsiguientes, así como con las Directrices de Buenas Prácticas en Investigación de Atención Primaria del Instituto de Investigación de Atención Primaria Jordi Gol i Gurina (Ariza et al., 2015).

El protocolo de investigación fue revisado y aprobado (P15 / 122) por la Junta Institucional (CEIC) del IDIAP (Apéndice C).

Antes de su inclusión en el estudio se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los/las participantes. Así, todas las personas que participaron dieron su consentimiento informado por escrito, de conformidad con los principios de la Declaración de Helsinki y las disposiciones establecidas en la legislación española (Capítulo II, artículo 7, Real Decreto 223/2004, de 6 de febrero de 2004). El formulario de consentimiento especificó que la participación en el estudio era voluntaria y que cada participante podía retirarse en cualquier momento del estudio sin perjuicio por su parte. Esta información fue proporcionada oralmente y por escrito.

En este estudio, solo los investigadores y profesionales de la salud han tenido acceso a los datos de cada participante. Los métodos de estudio son consistentes con las guías CONSORT para la notificación de ensayos clínicos (Boutron et al., 2017; Schulz et al., 2011).

CAPITULO IV – RESULTADOS

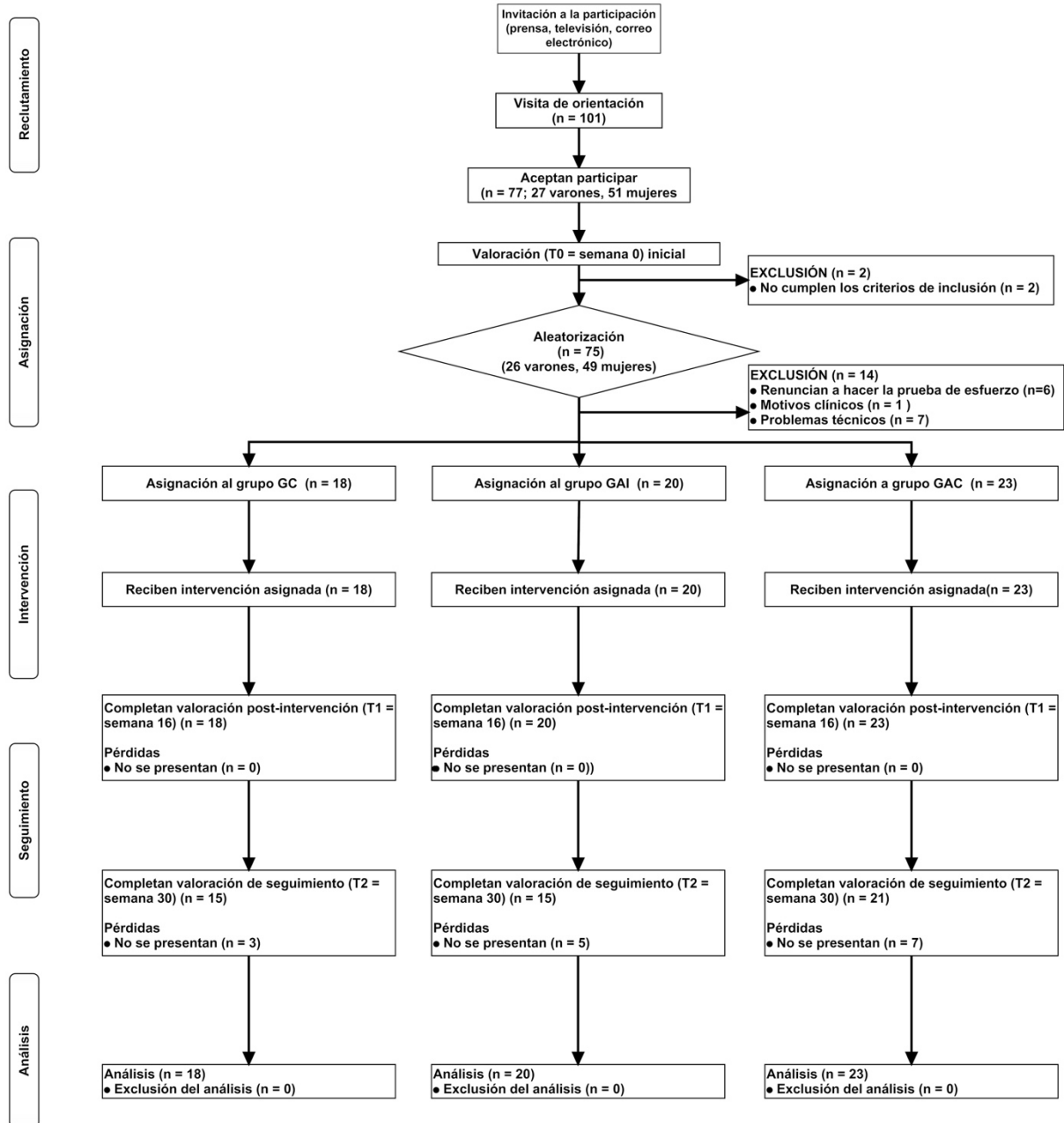
1. Participantes

En la evaluación inicial 61 participantes (23 hombres (M = 45.1 años, DE = 4.0) y 38 mujeres (M = 44.2 años, DE = 4.8)) de los 75 incluidos en el ensayo clínico Bellugat, completaron la pERG. Estos participantes estaban distribuidos aleatoriamente en Grupo Aeróbico en Intervalos (n = 20; 9 hombres y 11 mujeres), Grupo Aeróbico Continuo (n = 23; 7 hombres y 16 mujeres), y Grupo Control (n = 18; 7 hombres y 11 mujeres) (Figura 13).

Los participantes que completaron la pERG eran en su mayoría personas con estudios medios o superiores, no fumadoras, y renta familiar relativamente alta. No se registraron diferencias entre los grupos de estudio con respecto a los factores de riesgo cardiometabólico, y el estilo de vida (hábitos de actividad física y alimentación) (Tabla 8).

Figura 13

Diagrama de flujo de los participantes.



Notas: GAC, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico continuo tradicional; GAI, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico en intervalos; GC, grupo de estudio control de asesoramiento; n, número de personas participantes; pERG, prueba ergoespiométrica; T0, evaluación inicial; T1, evaluación después de la intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas (semana 30).

Los participantes incluidos en el ensayo Belluga't (Ensenyat et al., 2020) que no realizaron con éxito la prueba ergoespiométrica están excluidos del diagrama de flujo.

2. Desarrollo de la intervención

A lo largo de las 16 semanas de la intervención no se apreciaron efectos adversos relacionados con la salud (náuseas, mareos o lesiones) asociados a las sesiones de ejercicio físico o de asesoramiento.

La asistencia media a las sesiones de ejercicio supervisado de los y las participantes de la intervención fue del 71,9% (DE = 20,2), siendo considerados moderadamente cumplidores (rango de asistencia 50% al 79% de las sesiones). Las sesiones de asesoramiento grupal tuvieron una asistencia de 83,1% (DE = 17,1), siendo considerados buenos cumplidores (asistencia superior al 80% de las sesiones ofrecidas), tal como el asesoramiento individual donde la asistencia fue de 98,8% (DE = 5,4).

Riesgo Cardiometabólico

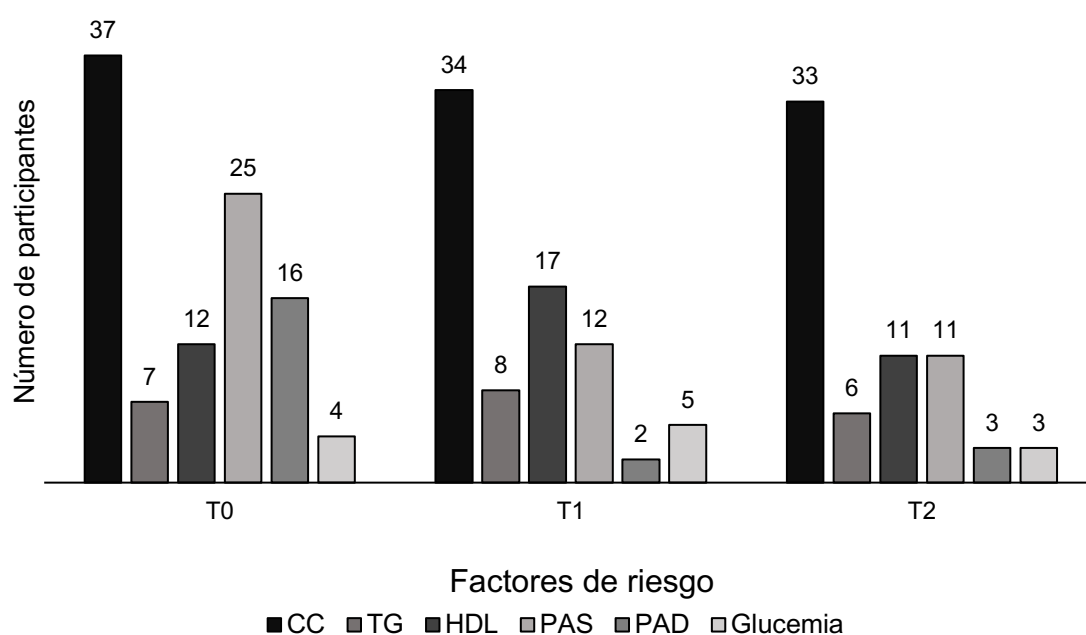
Al inicio del programa, de los 61 participantes del estudio, expresivos 37 participantes (60.6%; 16 hombres y 21 mujeres), presentaron valores fuera de la normalidad para la CC (hombres, M = 104.9 ; DE = 91.6 y mujeres, M = 91.6 ; DE = 9.4) (valores de referencia hombres ≥ 94 cm y mujeres ≥ 80 cm), 25 (40.9%; 16 hombres y 9 mujeres) de ellos presentaron PAS elevada (hombres, M = 141.6 ; DE = 9.5 y mujeres, M = 131.6 ; DE = 2.1) (valores de referencia para hombres ≥ 130 mm y mujeres ≥ 130 mm), y 16 (26.2%; 11 hombres y 5 mujeres) de los participantes con valores elevados de PAD (hombres, M = 93.1 ; DE = 3.5 y mujeres, M = 92.0 ; DE = 4.4) (valores de referencia para hombres ≥ 85 mm Hg y mujeres ≥ 85 mm Hg). Asimismo, en el momento inicial del programa algunos participantes presentaban más de 1 factor de riesgo como los supracitados, un total de 25 participantes presentaban 2 o más factores de riesgo.

La intervención mejoró varios factores de riesgo cardiometabólico (HDLc, PAS, PAD), siendo la PAD la que mostró mayores cambios ($d = -0.92$). Un 48.0% y un 36.7% de los participantes mejoraron su PAD en T1 y en T2, respectivamente. Los efectos fueron similares en todos los grupos de estudio (Tabla 8).

En la Figura 14, se muestra el número de participantes que presentaba alguno de los factores de riesgo cardiometabólico en los distintos momentos (T0, T1 o T2) del estudio. Se aprecia que a lo largo del estudio disminuye de manera persistente el número de personas que presentan como factor de riesgo una CC elevada (T0-T1 (χ^2 (1, n = 61) = 49.826, p = .000) y T0-T2 (χ^2 (1, n = 61) = 46.633, p = .000). También disminuye el número de personas con una PAS elevada (T0-T1 (χ^2 (1, n = 61) = 11.077, p = .001) y T0-T2 (χ^2 (1, n = 61) = 9.252, p = .002)), así como el número de personas con una PAD elevada (T0-T1 (χ^2 (1, n = 61) = 5.816, p = .016), y PAD T0-T2 (χ^2 (1, n = 61) = 8.874, p = .003)).

Figura 14

Número de participantes con factores de riesgo cardiometabólico.



Notas: CC, Circunferencia de cintura; HDL, lipoproteína de alta densidad; PAD presión arterial diastólica; PAS, presión Arterial Sistólica; TG, Triglicéridos.

Momento T0, evaluación inicial; Momento T1, evaluación después de la intervención de 16 semanas; Momento T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas.

Asimismo, se observó un efecto de la intervención sobre el índice de riesgo metabólico MetSSS, sin diferencias entre los 3 grupos de estudio (Tabla 8). Después de la intervención

se registró una pequeña reducción ($d = -0.44$) del índice de riesgo metabólico (índice MetSSS). Los cambios persistieron a las 24 semanas de seguimiento ($d = -0.46$). La mejora del índice MetSSS se asoció moderadamente a los cambios de la PAS (T0-T1: $\rho_{(2)} = 0.28$, $p = .028$; T0-T2: $\rho_{(2)} = 0.32$, $p = .01$); la PAD (T0-T1: $\rho_{(2)} = 0.36$, $p = .004$; T0-T2: $\rho_{(2)} = 0.40$, $p = .001$); la PAM (T0-T1: $\rho_{(2)} = 0.42$, $p = .001$; T0-T2: $\rho_{(2)} = 0.47$, $p = .000$) y de la CC (T0-T1: $\rho_{(2)} = 0.34$, $p = .00$; T0-T2: $\rho_{(2)} = 0.27$, $p = .02$).

Además, se observó que al finalizar las 16 semanas de ejercicio semi-supervisado y asesoramiento (T1), 21 participantes (34.4%; 15 hombres y 6 mujeres) redujeron en 0.5 puntos o más su índice MetSSS, 38 participantes (62.3%; 6 hombres y 32 mujeres) no modificaron este índice y 2 hombres (3.3%) aumentaron el índice en 0.5 puntos o más. No se observaron diferencias entre grupos de estudio ($X^2(4, n = 61) = 1.606$, $p = .808$).

De los participantes que mejoraron el índice MetSSS y formaban parte de un grupo de estudio con ejercicio físico semi-supervisado ($n = 15$); 4 de ellos (26.6%; 2 hombres y 2 mujeres), habían sido buenos cumplidores del programa de ejercicio físico supervisado y asesoramiento (asistencia $\geq 80\%$ de las sesiones), 7 de ellos (46.7%; 5 hombres y 2 mujeres) moderadamente cumplidores (asistencia del 50% al 79.9% de las sesiones), y 4 (26.7%; 3 hombres y 1 mujer) poco cumplidores (asistencia $< 50\%$ de las sesiones). Los otros 6 participantes que mejoraron el índice MetSSS pertenecían al GC, en el cual no se ofrecía el programa de ejercicio físico.

A las 24 semanas de finalizar la intervención (T2), se observó que 22 participantes (36.1%; 14 hombres y 8 mujeres) redujeron en 0,5 puntos o más su índice MetSSS, 35 (57.4%; 7 hombres y 28 mujeres) no modificaron este índice y 4 participantes (6.6%; 2 hombres y 2 mujeres) aumentaron el índice en 0.5 puntos o más. No se observaron diferencias entre grupos de estudio ($X^2(4, n = 61) = 1.951$, $p = .745$).

De los participantes que mejoraron el MetSSS en ese momento y formaban parte de un grupo de estudio con ejercicio físico semi-supervisado ($n = 15$); 6 (40%; 2 hombres y 4 mujeres) habían sido buenos cumplidores del programa de ejercicio físico supervisado y del de asesoramiento, 6 (40%; 4 hombres y 2 mujeres) moderadamente cumplidores y 3 hombres

(20%) poco cumplidores. Los otros 7 participantes que mejoraron el índice MetSSS pertenecían al GC, en el cual no se ofrecía el programa de ejercicio físico. Tanto en T1, como en T2, no se observó ninguna relación significativa con el nivel de asistencia a las sesiones de ejercicio físico supervisado y la reducción del riesgo metabólico ($(X^2(4, n = 42) = 4.039, p = .401)$ y $(X^2(4, n = 42) = 1.303, p = .861)$ para T1 y T2 respectivamente).

Se ha podido evidenciar que la intervención originó una pequeña reducción significativa del índice MetSSS, tanto al final de las 16 semanas de intervención, como, a las 24 semanas de su finalización. Esta reducción del riesgo metabólico se asocia a una disminución de la PAS, PAD, PAM y CC. No se evidencia un efecto del grupo de estudio, ni del cumplimiento con las sesiones de ejercicio físico supervisado.

Tabla 8

Índice de riesgo metabólico MetSSS, factores de riesgo cardiometabólico y estilo de vida al inicio (T0), después (T1) y a las 24 semanas de finalizar la intervención (T2) (n = 61).

	N	T0		T1		T2		T0 vs T1			T0 vs T2		
		M	DE	M	DE	M	DE	d	Efecto de la intervención P _w	Efecto del grupo P _{kw}	d	Efecto de la intervención P _w	Efecto del grupo P _{kw}
INDICE DE RIESGO DE SINDROME METABÓLICO													
MetSSS (Wiley 2016)	61	1.5	1.5	0.9	1.1	0.9	1.1	-0.44	0.000	0.874	-0.46	0.000	0.325
FACTORES DE RIESGO CARDIOMETABÓLICO													
IMC (kg/m ²)	61	27.5	5.2	27.0	4.9	27.2	4.8	-0.10	0.000	0.541	-0.07	0.236	0.345
CC (cm)	61	89.5	13.9	88.2	13.7	88.0	13.2	-0.10	0.001	0.519	-0.11	0.029	0.195
Glucemia (mg/dL)	61	89.0	7.7	89.4	9.3	90.1	9.6	0.04	0.825	0.014	0.13	0.162	0.283
Colesterol total (mg/dL)	61	198.7	34.6	188.5	35.3	191.7	32.1	-0.29	0.000	0.514	-0.21	0.005	0.560
HDLc (mg/dL)	61	55.3	11.6	53.2	11.6	55.0	11.9	-0.18	0.014	0.436	-0.03	0.718	0.868
LDL (mg/dL)	61	124.8	30.7	116.8	29.8	117.4	26.6	-0.26	0.000	0.737	-0.26	0.003	0.838
TG (mg/dL)	61	94.1	41.2	92.3	42.9	94.0	36.5	-0.04	0.462	0.521	0.00	0.690	0.582
PAS (mmHg)	61	125.5	13.3	120.8	12.5	121.3	12.0	-0.36	0.007	0.775	-0.33	0.002	0.715
PAD (mmHg)	61	77.7	10.8	69.0	7.9	68.7	8.8	-0.92	0.000	0.698	-0.92	0.000	0.455
PAM (mmHg)	61	93.6	10.5	86.3	8.9	86.2	9.3	-0.75	0.000	0.935	-0.75	0.000	0.866
HABITOS DE ACTIVIDAD FISICA/CONDUCTA SEDENTARIA/ALIMENTACION													
Pasos/día (número)	61	8318.6	2350.5	9586.3	3633.3	9235.7	3086.6	0.42	0.000	0.488	0.34	0.004	0.938
VM (CPM)	61	649.8	144.8	697.2	195.6	694.6	170.1	0.28	0.029	0.155	0.28	0.023	0.985
Tiempo sedentario (% ^a)	61	62.5	6.1	61.0	7.7	61.1	6.3	-0.21	0.054	0.109	-0.22	0.037	0.755
LPA (% ^a)	61	33.2	6.0	33.8	7.2	33.7	5.9	0.10	0.264	0.227	0.09	0.399	0.925
MVPA (% ^a)	61	4.4	2.0	5.2	2.7	5.2	2.5	0.35	0.001	0.227	0.35	0.003	0.936
MVPA (min/día)	61	35.8	17.1	44.6	24.9	43.3	23.0	0.42	0.000	0.379	0.38	0.003	0.903
HEI (Bassiotis, 2002)	61	45.5	17.2	51.0	15.0	55.3	16.0	0.34	0.030	0.195	0.59	0.003	0.330

Notas: CC, circunferencia de la cintura; CPM, computes por minuto; HDLc, colesterol unido a lipoproteínas de alta densidad; HEI, índice hábitos de alimentación saludable (Bassiotis, 2002); IMC, índice de masa corporal; LDLc, colesterol de lipoproteínas de densidad ligera; LPA, actividad física de intensidad ligera; MetSSS, puntuación de gravedad del síndrome metabólico (Wiley & Carrington, 2016); MVPA, actividad física de intensidad moderada a vigorosa; PAD, presión arterial diastólica; PAM, presión arterial media; PAS, presión arterial sistólica; TG, triglicéridos; VM, magnitud del vector.

T0, evaluación inicial; T1, evaluación posterior a las 16 semanas de intervención; T2, evaluación de seguimiento a las 24 semanas de finalizar la intervención.

^a Porcentaje relativo al tiempo de vigilia.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0.2–0.5| representan pequeños cambios, |0.5–0.8| cambios moderados y >|0.8| grandes cambios (Cohen, 1992).

P_w, según la prueba de Wilcoxon; P_{kw}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

3. Actividad física, sedentarismo y hábitos alimentarios

Los participantes llevaron un acelerómetro sujeto a la cintura durante una media de 6.98 días (DE = 0.6) y 820.9 min/día (DE = 77).

Al inicio del estudio, el 63,9% de los participantes dedicaba más de 8 h/día de las horas diarias de vigilia a conductas sedentarias. El 98,4% de los participantes dedicaban más de 6 h/día a conductas sedentarias. Asimismo, los participantes realizaban una media de 8.318 (DE = 2.350) pasos al día, no habiendo diferencias estadísticas entre los grupos.

Se observó un efecto positivo de la intervención en el número de pasos/día, el nivel de actividad global (VM), el tiempo en conductas sedentarias y en actividades de intensidad moderada-vigorosa (MVPA) y de los hábitos de alimentación (HEI) (Tabla 8). Los participantes aumentaron ligeramente el número de pasos/días, la actividad global (VM), la MVPA y el HEI y redujeron el tiempo dedicado a conductas sedentarias ($d < 0.5$ para todos ellos). Aunque pequeños, los cambios persistieron a las 24 semanas de seguimiento.

Al inicio del estudio, 41 de los participantes (67,2%) obtuvieron una puntuación baja de sus hábitos de alimentación; este porcentaje se redujo significativamente a 31 participantes (51%) y a 25 participantes (41,6%) en T1 y T2 respectivamente; mientras que el porcentaje de participantes que tenían hábitos de alimentación adecuados aumentó significativamente del 29,5% (n = 18) al inicio del estudio, al 47,5% (n = 29) y 52,5% (n = 32) en T0 y T1 (χ^2 (2, n = 61) = 9.661, p = .008 y χ^2 (2, n = 61) = 16.877, p = .000, para T0 y T2 respectivamente).

Tanto en T1, como en T2, no se observó ninguna relación significativa con el nivel de asistencia a las sesiones de ejercicio físico supervisado o de asesoramiento grupal o individual y los cambios del HEI.

Se ha podido evidenciar que la intervención originó una mejora modesta de los hábitos de actividad física y alimentación, tanto al final de las 16 semanas de intervención, como a las 24 semanas de su finalización. El efecto se centra en un aumento del número de pasos diarios y los minutos de MVPA, una reducción del tiempo en conductas sedentarias y, una mejora de los hábitos de alimentación.

4. Desarrollo de las pruebas de esfuerzo

En la evaluación inicial (T0) 61 participantes completaron de la pERG. De estas 61 personas, 43 (70,5%) realizaron la pERG satisfactoriamente y alcanzaron, en el momento T0, los criterios de esfuerzo máximo descritos en el apartado Metodología. Como muestra la dinámica de análisis de las pERG (Figura 15), los 43 participantes que alcanzaron niveles máximos de esfuerzo en T0 también alcanzaron los criterios de esfuerzo máximo en T1 y T2. A partir de este punto, se hace referencia a esta situación como Escenario A.

Los 18 participantes restantes (29,5%), que también realizaron la pERG en T0, tuvieron que finalizar prematuramente esta prueba debido a una respuesta anormal/exagerada de la presión arterial. De estas personas, 11 participantes alcanzaron los criterios de esfuerzo máximo en T1 y T2 (situación denominada Escenario B), mientras que el resto (n = 6) tuvo que detener la prueba cardiorrespiratoria en T0 y T1 debido a que persistía la respuesta anormal de la presión arterial (situación denominada Escenario C).

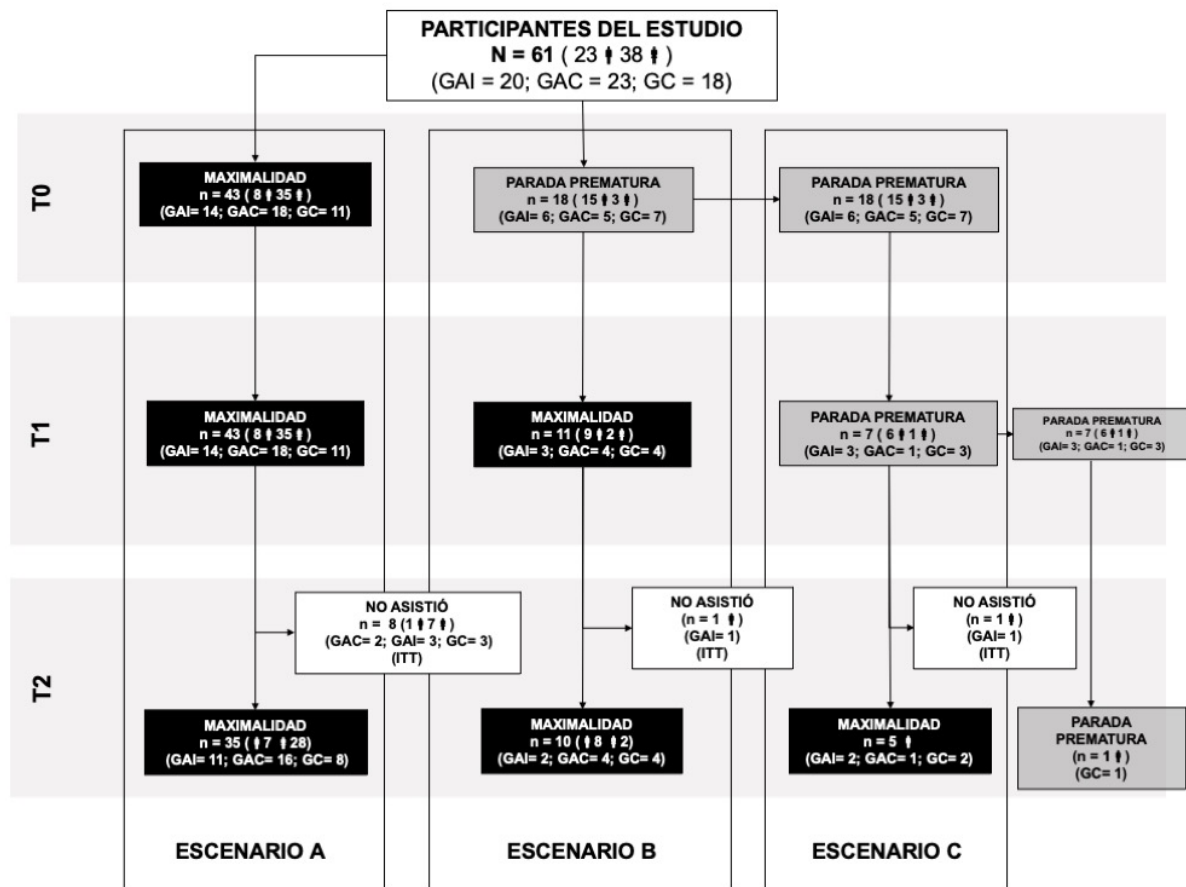
El porcentaje de hombres (65.2%) que tuvo que interrumpir la prueba por una respuesta anormal de la presión arterial fue superior al de las mujeres (7.9%) (χ^2 (1, n = 61) = 22.634, p = .000). Sin embargo, no hubo diferencias entre los grupos de estudio en cuanto a los motivos para finalizar la pERG (χ^2 (2, n = 61) = 1.431, p = .489).

Cómo lo visto, no todos los participantes han sido analizados conjuntamente, eso debido a los motivos de finalización de la pERG. La división de los participantes según el motivo de finalización no estaba prevista antes de la realización del estudio. Se ha considerado que los datos de la pERG no se deben analizar con todos los participantes/escenarios agrupados. Por ello, se ha dividido el análisis de los resultados de las pERG considerando los 3 escenarios (Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11).

En primer lugar, se comentarán los resultados de las pERG para los participantes (n = 43) que alcanzaron criterios de esfuerzo máximo en T0-T1-T2 (Escenario A), y a continuación, los de los participantes que tuvieron que finalizar prematuramente la pERG al inicio del estudio (Escenario B y Escenario C).

Figura 15

Dinámica de análisis de acuerdo con el motivo de finalización de la pERG.



Notas: GAC, grupo aeróbico continuo; GAI, grupo aeróbico en intervalos; GC, grupo control; ITT, análisis por intención de tratar; n, número de participantes en el grupo; N, número total de participantes del programa de intervención.

T0, evaluación inicial; T1, evaluación posterior a las 16 semanas de intervención; T2, evaluación de seguimiento a las 24 semanas de finalizar la intervención.

Escenario A, participantes que alcanzaron niveles máximos de esfuerzo en T0 también alcanzaron los criterios de esfuerzo máximo en T1 y T2; Escenario B, participantes que no alcanzaron los criterios de esfuerzo máximo en T0, pero sí en T1 y T2; Escenario C, participantes que no alcanzaron los criterios de esfuerzo máximo en T0 y T1, pero sí en T2.

5. Escenario A

Los indicadores de maximalidad; cociente respiratorio máximo (RER_{PICO}) ($M = 1.19$, $DE = 0.07$), cronotropía ($M = 85.5\%$, $DE = 17.7$) y valores de sensación de fatiga según la escala de Borg CR-10 ($M = 7.8$, $DE = 1.8$) sugieren que estos participantes alcanzaron un nivel de esfuerzo excelente durante la prueba. Al inicio del estudio (T0) no hubo diferencias significativas entre los grupos de estudio en relación con los valores máximos y submáximos alcanzados en la pERG (Tabla 9).

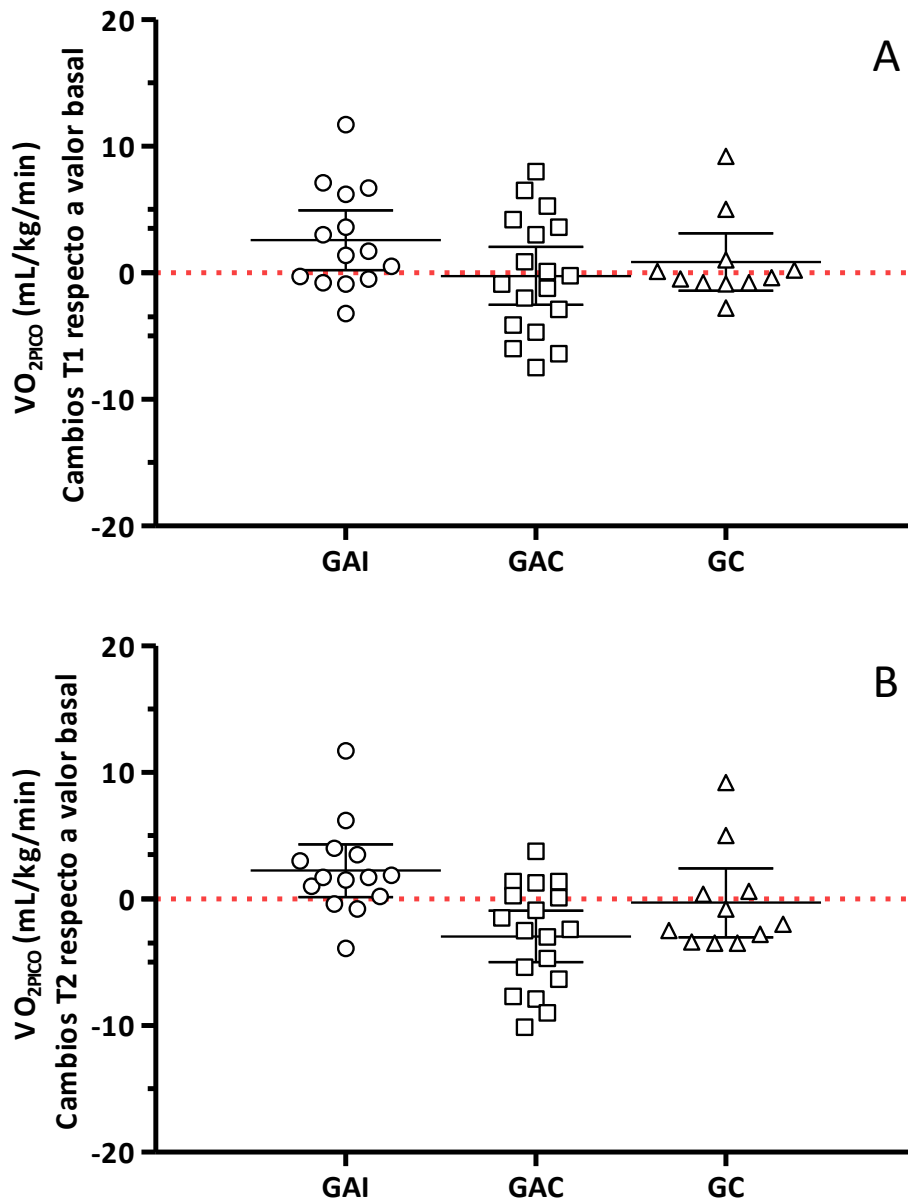
Se observó un efecto positivo de la intervención en relación con la carga de trabajo alcanzada (W_{PICO}) y de la presión arterial (PAS, PAD y PAM) en la carga de trabajo pico. No se apreciaron diferencias entre los grupos de estudio (Tabla 9). Los participantes aumentaron ligeramente su carga de trabajo pico ($d = 0.26$), que persistió ($d = 0.21$) a las 24 semanas de seguimiento. Los valores de presión arterial en el pico de carga de trabajo fueron más bajos ($d = -0.40$; $d = -0.59$; $d = -0.54$ para PAS, PAD y PAM respectivamente) al final de la intervención. Estos cambios persistieron y fueron incluso mayores a las 24 semanas de seguimiento ($d = -0.57$; $d = -0.73$; $d = -0.70$ para PAS, PAD y PAM respectivamente). A las 24 semanas de seguimiento, aunque no estadísticamente significativo se observa que el GAI fue el único grupo de estudio que presentó valores más altos en comparación a los iniciales de VO_{2PICO} , mientras que los demás disminuyeron o no se modificaron. Además, la PAD_{PICO} también presentó diferencia según el grupo de estudio. Así, en el GAC se observa una disminución del 8.9% ($DE = 7.8\%$) de la PAD_{PICO} ($M = -8.33$ mmHg, $DE = 7.46$ mmHg, $d = -1.32$) que es mayor en comparación a los cambios observados en los demás grupos de estudio ($d = -0.26$ y $d = -0.51$ para GAI y GC, respectivamente).

A pesar de la mejora de la carga de trabajo pico, no se registraron cambios del VO_{2PICO} después de la intervención (T1), ni en el seguimiento (T2). Los aumentos medios del VO_{2PICO} tendieron a ser mejores en el grupo GAI, pero pequeños e inferiores al umbral clínico mínimo de 3,5 ml/kg/min (Figura 16). Sin embargo, el porcentaje de participantes que mejoraron su VO_{2PICO} por encima del nivel umbral (3,5 ml/kg/min) fue mayor en el grupo GAI (36%; $n = 5/14$)

que en los otros grupos (GAC = 28%; 5/18 y GC = 18%, n = 2/11) ($X^2(4, n = 43) = 13.57$; p = .055). A las 24 semanas de seguimiento, la mejora persistió en el 28% de los participantes del grupo GAI, mientras que este porcentaje fue solo del 6% en el grupo GAC y del 18% en el grupo GC ($X^2(4, n = 43) = 10.337$; p = .035) (Figura 16).

Figura 16

Cambios individuales de todos los participantes del escenario A, entre T0 y T1 (panel A), y entre T0 y T2 (panel B) para VO_{2PICO} .



Notas: GAC, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico continuo tradicional; GAI, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico interválico; GC, grupo de estudio control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; VO_2 , consumo de oxígeno.

Cada punto indica una persona.

En el grupo GAC el 28% (n = 5) de los participantes mostró una reducción superior a -3,5 mL/kg/min de su VO_{2PICO} , mientras que en el GAI y GC ningún participante mostró una reducción de su VO_{2PICO} . A las 24 semanas de seguimiento, el 7% (n = 1) y el 39% (n = 7) de los participantes de los grupos GAI y GAC, respectivamente, mostraron una reducción de su VO_{2PICO} . A pesar de que para cualquier momento (T0, T1 y T2) y para los grupos de estudio (GAI y GAC) se observa que las personas con una CC y un índice MetSSS menor alcanzaron mayores valores de VO_{2PICO} en la realización de la pERG, no se ha apreciado una asociación entre los cambios del VO_{2PICO} y los cambios del índice MetSSS entre T0-T1 y T0-T2.

No se apreciaron cambios en la ventilación máxima alcanzada, ni en la frecuencia cardíaca y el pulso de O_2 al finalizar la pERG, tanto en el momento T0, como para el momento T2.

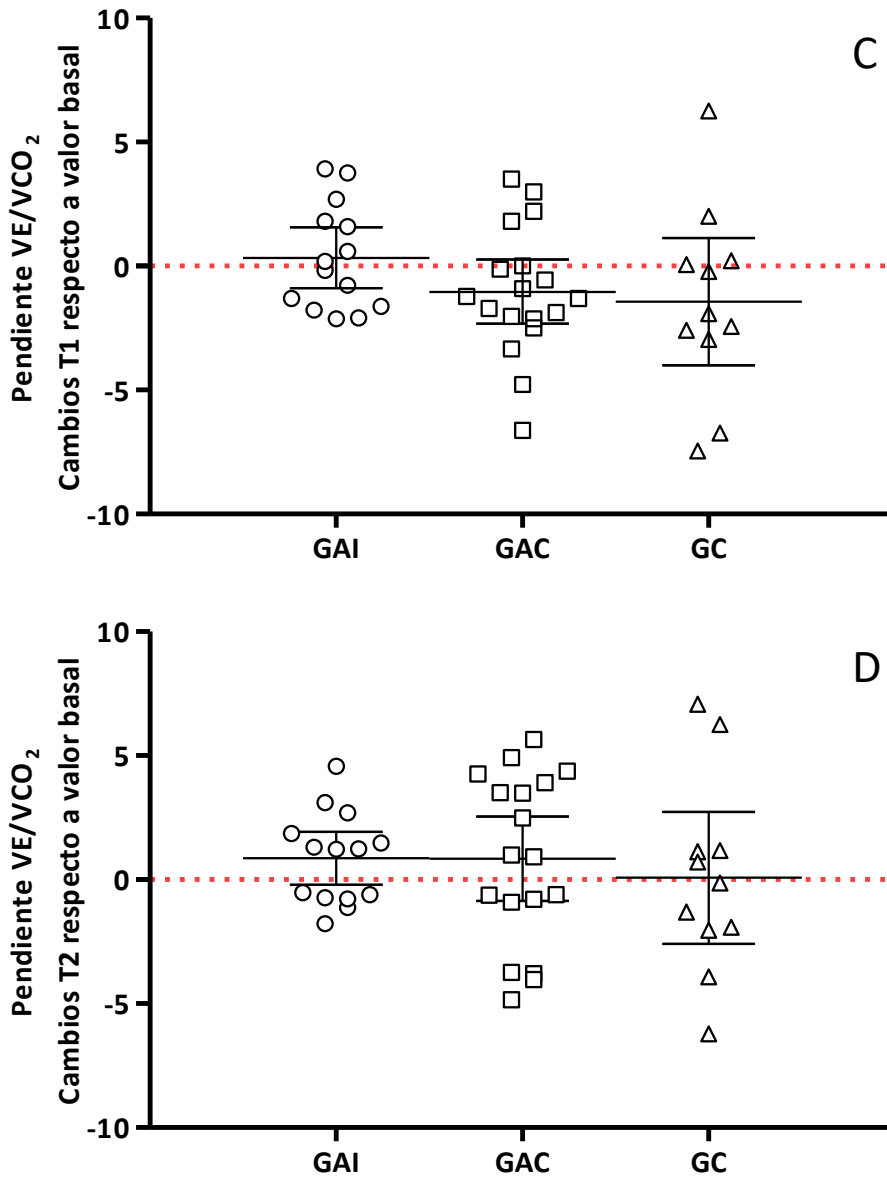
Los datos e índices submáximos no cambiaron después de la intervención. Solo se observó un aumento trivial pero significativo del VO_2 en el RCP (VO_{2RCP}) y del OUES al final de la intervención. No se apreciaron diferencias entre grupos de estudio. Estos aumentos no persistieron a las 24 semanas de seguimiento.

No se observó un efecto de la intervención para la pendiente de VE/VCO_2 ; sin embargo, al inicio de ésta, el 44.2% (n = 19) de los participantes mostraba una pendiente de VE/VCO_2 superior a 30. De ellos, en el 31.6% (n = 6) la pendiente disminuyó (mejoró) a valores inferiores a 30 después de la intervención (Figura 17).

Como se ha indicado, se observó un pequeño efecto de la intervención para OUES (Figura 18) que no persistió a las 24 semanas de seguimiento. El número de participantes (n = 23/43; 53.5%) que aumentó su OUES (al menos en 0.1 punto) al final de la intervención fue significativamente mayor que los que la empeoraron (χ^2 (2, n = 43) = 9.116; p = .010). No se observó ninguna asociación entre los cambios observados para la OUES entre T0-T1, o entre T0-T2, y los cambios observados para el VO_{2PICO} , la pendiente de VE/VCO_2 o el índice MetSSS.

Figura 17

Cambios individuales de todos los participantes del escenario A, entre T0 y T1 (panel C), y entre T0 y T2 (panel D) para la pendiente VE/VCO_2 .

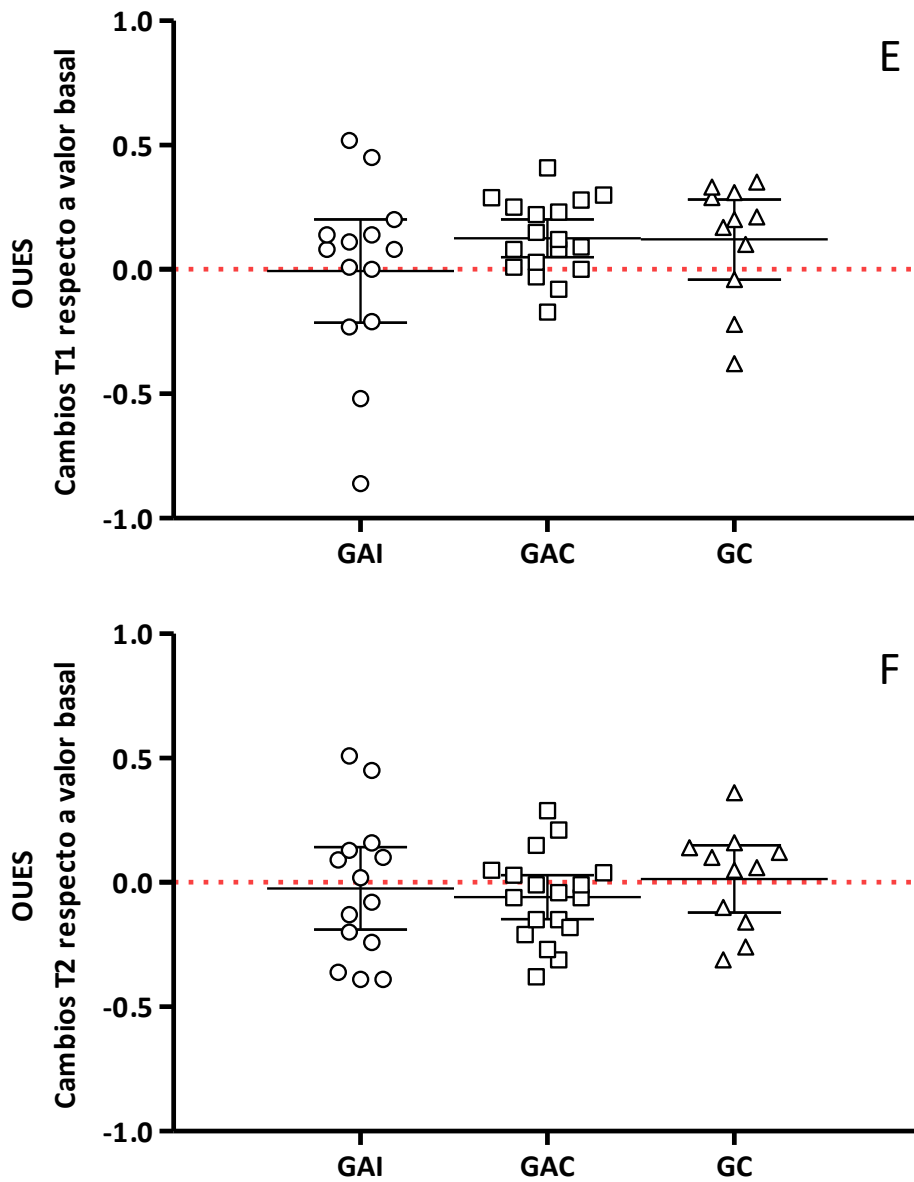


Notas: GAC, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico continuo tradicional; GAI, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico interválico; GC, grupo de estudio control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; VE/VCO_2 , pendiente de relación entre la ventilación y la producción de dióxido de carbono.

Cada punto indica una persona.

Figura 18

Cambios individuales de todos los participantes del escenario A, entre T0 y T1 (panel E), y entre T0 y T2 (panel F) para el OUES.



Notas: GAC, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico continuo tradicional; GAI, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico interválico; GC, grupo de estudio control; OUES, pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; VO_2 , consumo de oxígeno.

Cada punto indica una persona.

La intervención tuvo un efecto positivo sobre la capacidad de esfuerzo (carga de trabajo) y la respuesta de la presión arterial al esfuerzo que además persistió en el tiempo en las personas que inicialmente alcanzaron criterios de maximalidad en la pERG (escenario A).

Aunque los cambios del VO_{2PICO} fueron pequeños, parece que el GAI tiende a presentar mayor aumento en comparación a los demás grupos de estudio.

Tabla 9

Valores pico, valores a nivel del RCP y índices derivados obtenidos en las pERG realizadas al inicio (T0), después de la intervención (T1), y a las 24 semanas de seguimiento (T2) para el Escenario A (n = 43).

	N	T0		T1		T2		d	T0 vs T1		T0 vs T2		
		M	DE	M	DE	M	DE		Efecto intervención P _w	Efecto grupo P _{KW}	d	Efecto intervención P _w	Efecto grupo P _{KW}
TRABAJO MAXIMO													
W _{PICO} (W)	43	119.3	37.3	129.3	40.1	127.5	41.4	0.26	0.000	0.757	0.21	0.002	0.739
VO _{2PICO} (ml/kg/min)	43	24.5	5.9	25.4	7.0	23.9	6.8	0.15	0.299	0.187	-0.09	0.356	0.003
VE _{PICO} (L/min)	43	66.1	15.8	69.2	18.9	67.7	17.7	0.18	0.303	0.009	0.10	0.552	0.004
FC _{PICO} (bpm)	43	160.1	16.1	158.0	13.6	160.8	15.3	-0.14	0.091	0.906	0.04	0.945	0.318
PAS _{PICO} (mmHg)	43	178.7	22.1	170.8	17.3	166.9	19.0	-0.40	0.004	0.374	-0.57	0.000	0.610
PAD _{PICO} (mmHg)	43	87.8	7.0	83.6	7.1	82.6	7.4	-0.59	0.004	0.071	-0.73	0.002	0.042
PAM _{PICO} (mmHg)	43	118.1	10.6	112.7	9.4	110.7	10.5	-0.54	0.001	0.140	-0.70	0.000	0.695
PUNTO DE COMPENSACION RESPIRATORIA													
W _{RCP} (W)	43	99.8	30.4	104.9	28.3	99.3	28.4	0.17	0.085	0.794	-0.02	0.847	0.975
VO _{2RCP} (ml/kg/min)	43	16.6	4.1	17.7	4.1	16.2	4.3	0.26	0.013	0.820	-0.11	0.294	0.329
pVO _{2RCP} (% VO _{2PICO})	43	68.6	9.5	70.5	8.8	68.9	14.6	0.11	0.398	0.188	-0.13	0.612	0.325
INDICES													
Pendiente VE/VCO ₂	43	29.5	3.9	29.1	4.3	30.1	4.2	-0,08	0.223	0.155	0.16	0.159	0.456
OUES	43	1.7	0.7	1.8	0.6	1.7	0.7	0,12	0.007	0.419	-0.10	0.269	0.901

Notas: FC, frecuencia cardiaca; OUES, pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno; PAD, presión arterial diastólica; PAM, presión arterial media; PAS, presión arterial sistólica; pVO₂, porcentaje relacionado con el VO_{2PICO}; RCP, punto de compensación respiratoria; T0, momento inicial; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento; VCO₂, producción de dióxido de carbono; VE, ventilación; VO₂, consumo de oxígeno; W, carga de trabajo/potencia.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0,2–0,5| representan pequeños cambios, |0,5–0,8| cambios moderados y >0,8| grandes cambios.

P_w, según la prueba de Wilcoxon; P_{KW}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

6. Escenario B

En la Tabla 10 se presentan los resultados de los 11 participantes que en la pERG inicial (T0) no pudieron alcanzar el máximo esfuerzo, debido a niveles elevados de presión arterial (PAS_{PICO} , $M = 202.6$ mmHg; $DE = 21.8$), pero que en los momentos T1 y T2 del estudio, sí que realizaron un esfuerzo máximo (Figura 15).

Al finalizar la pERG en el momento T0, se registraron valores de RER_{PICO} de 1.02 ($DE = 0.11$), cronotropía de 60.8% ($DE = 21.4$), y valores de sensación de fatiga según la escala CR-10 de 5.3 ($DE = 2.0$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio (Tabla 10).

Al final de la intervención de 16 semanas, estos participantes mejoraron su respuesta fisiológica al esfuerzo y pudieron alcanzar el esfuerzo máximo (RER_{PICO} ($M = 1.12$, $DE = 0.65$); cronotropía ($M = 78.7\%$, $DE = 13.5$); sensación de fatiga según la escala CR-10 valores ($M = 7.1$, $DE = 1.4$)). También en la prueba (T2) de seguimiento (RER_{PICO} ($M = 1.15$, $DE = 0.66$); cronotropía ($M = 84.8\%$, $DE = 12.0$); sensación de fatiga según la escala CR-10 ($M = 6.8$, $DE = 1.5$)).

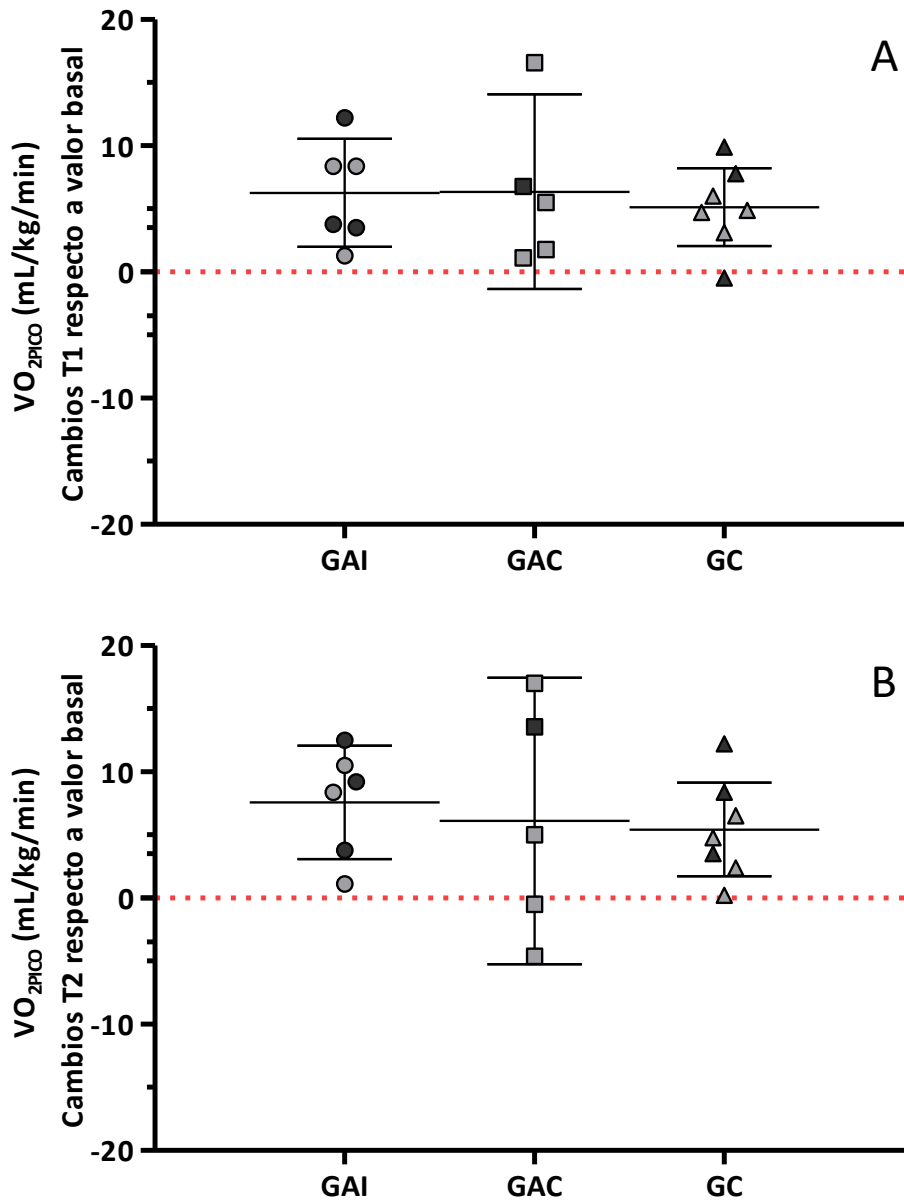
La intervención ocasionó una mejora, de moderada a grande magnitud, para casi todas las variables registradas (W_{PICO} , VO_{2PICO} , VE_{PICO} , FC_{PICO} , PAM_{PICO}). No se apreciaron diferencias entre grupos de estudio (Tabla 10).

Se observó un efecto positivo moderado para el VO_{2PICO} al final de la intervención ($d = 0.89$) y en el seguimiento ($d = 1.46$), sin diferencias entre grupos de estudio. Siete personas (63,6%) mejoraron su VO_{2PICO} al menos en 3,5 mL/kg/min al final de la intervención. El VO_{2PICO} se mantuvo elevado en el seguimiento en seis (54,5%) de ellas (Figura 19).

También se registró que el nivel de esfuerzo que corresponde al RCP, la intervención mejoró la carga del esfuerzo (W_{RCP}) y el VO_{2RCP} . Ambos muestran aumentos grandes y persistentes ($d = 1.42$ y $d = 1.15$ para W_{RCP} y $d = 1.13$ y $d = 0.74$ para VO_{2RCP} entre los momentos T0-T1 y T0-T2).

Figura 19

Cambios individuales de todos los participantes del escenario B y C, entre T0 y T1 (panel A), y entre T0 y T2 (panel B) para VO_{2PICO} .



Notas: GAC, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico continuo tradicional; GAI, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico interválico; GC, grupo de estudio control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; VO_2 , consumo de oxígeno.

Cada punto indica una persona.

Los símbolos grises indican Escenario B; negros indican Escenario C.

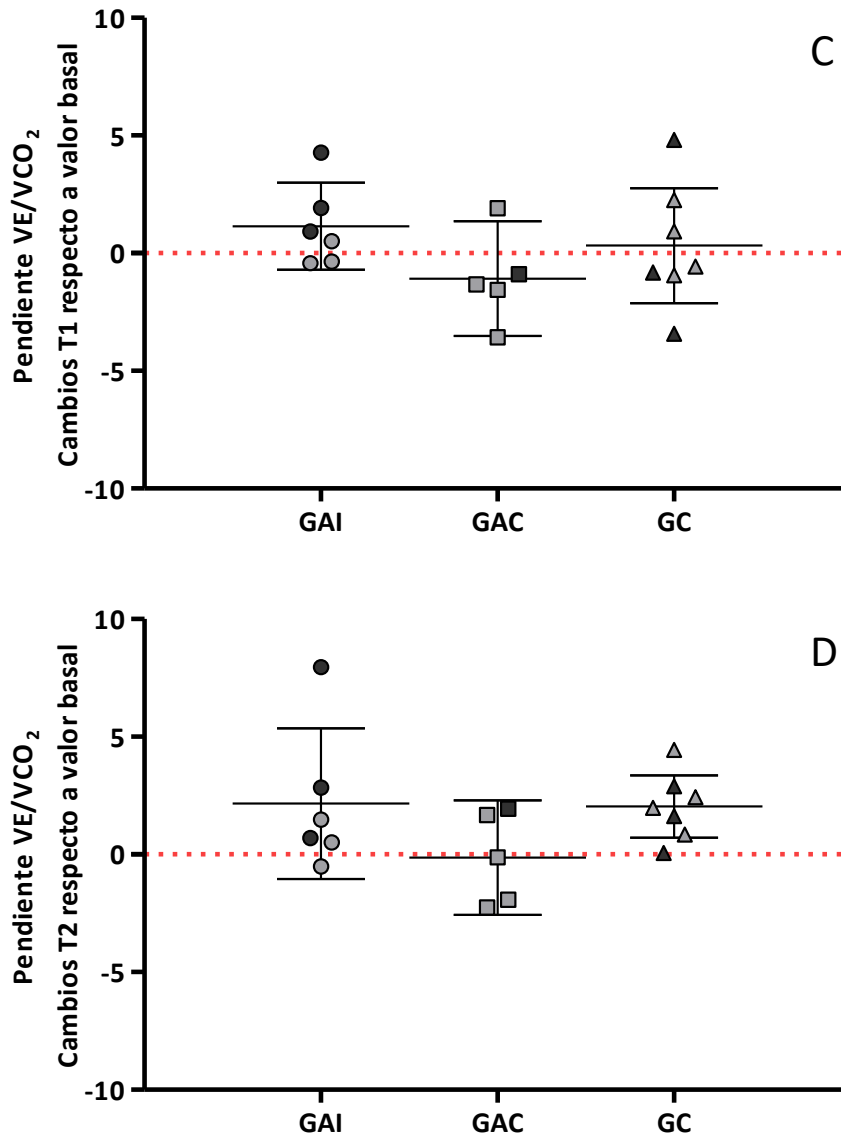
La intervención ocasiona una importante mejora significativa de la OUES ($d = 0.97$) que, en cierta medida, aún persiste ($d = 0.58$) a las 24 semanas de seguimiento. Muchos participantes incluidos en este escenario ($n = 10$; 90.9%) aumentaron su OUES (al menos en 0,1 punto) al final de la intervención, pero el índice persistió elevado a las 24 semanas de seguimiento solamente en 6 participantes (54.5%) (Figura 21).

La pendiente VE/VCO_2 no presentó ninguna diferencia estadística a pesar de observarse una pequeña tendencia de mejora para el GAI (Figura 20).

La intervención tuvo un efecto positivo sobre la capacidad de esfuerzo (carga de trabajo) y la respuesta fisiológica al esfuerzo (W_{PICO} , VO_{2PICO} , OUES) que además persistió en el tiempo en personas que no alcanzaron criterios de maximalidad en la pERG inicial a causa de una respuesta anormal de la presión arterial.

Figura 20

Cambios individuales de todos los participantes del escenario B y C, entre T0 y T1 (panel C), y entre T0 y T2 (panel D) para la pendiente VE/VCO_2 .



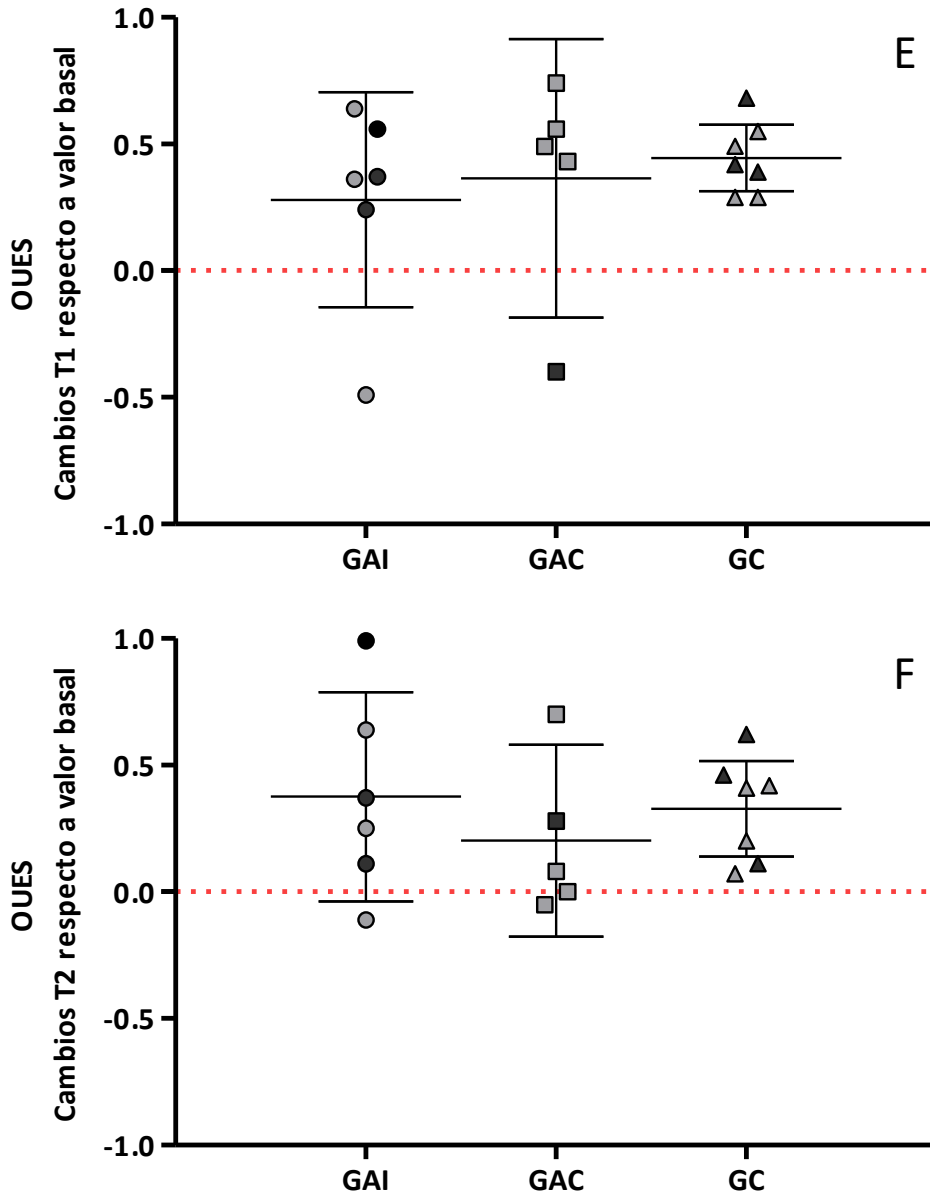
Notas: GAC, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico continuo tradicional; GAI, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico interválico; GC, grupo de estudio control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; VE/VCO_2 , pendiente de relación entre la ventilación y la producción de dióxido de carbono.

Cada punto indica una persona.

Los símbolos grises indican Escenario B; negros indican Escenario C.

Figura 21

Cambios individuales de todos los participantes del escenario B y C, entre T0 y T1 (panel E), y entre T0 y T2 (panel F) para el OUES.



Notas: GAC, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico continuo tradicional; GAI, grupo de estudio de entrenamiento aeróbico interválico; GC, grupo de estudio control; OUES, pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas.

Cada punto indica una persona.

Los símbolos grises indican Escenario B; negros indican Escenario C.

Tabla 10

Valores pico, valores a nivel del RCP y índices derivados obtenidos en las pERG realizadas al inicio (T0), después de la intervención (T1), y a las 24 semanas de seguimiento (T2) para el Escenario B (n = 11).

	N	T0		T1		T2		d	T0 vs T1		T0 vs T2		
		M	DE	M	DE	M	DE		Efecto intervención P _W	Efecto grupo P _{KW}	d	Efecto intervención P _W	Efecto grupo P _{KW}
TRABAJO MAXIMO													
W _{PICO} (W)	11	120	38.7	164.5	35.9	170	29.7	1.19	0.003	0.772	1.46	0.003	0.727
VO _{2PICO} (ml/kg/min)	11	23.5	6.3	29.1	6.3	28.1	6.9	0.89	0.003	0.824	0.70	0.021	0.591
VE _{PICO} (L/min)	11	63.2	20.0	84.7	20.5	87.4	24.2	1.06	0.006	0.839	1.09	0.008	0.232
FC _{PICO} (bpm)	11	139.4	17.4	154.5	12.2	160.2	11.9	1.02	0.033	0.876	1.42	0.004	0.414
PAS _{PICO} (mmHg)	11	202.6	21.8	192.5	11.0	195.3	11.9	-0.62	0.168	0.190	-0.44	0.247	0.048
PAD _{PICO} (mmHg)	11	97.7	8.9	92.7	4.1	92.5	5.9	-0.77	0.060	0.311	-0.70	0.099	0.155
PAM _{PICO} (mmHg)	11	132.7	8.6	126.0	4.2	126.8	7.0	-1.05	0.022	0.750	-0.76	0.093	0.181
PUNTO DE COMPENSACION RESPIRATORIA													
W _{RCP} (W)	11	97.3	31.3	140.9	30.2	133.6	32.0	1.42	0.005	0.411	1.15	0.011	0.741
VO _{2RCP} (ml/kg/min)	11	15.1	4.5	20.7	5.3	18.4	4.4	1.13	0.004	0.417	0.74	0.083	0.931
pVO _{2RCP} (% VO _{2pico})	11	66.0	14.4	71.7	12.0	66.6	11.6	0.43	0.424	0.273	0.05	0.790	0.824
INDICES													
Pendiente VE/VCO ₂	11	26.9	3.4	26.6	3.5	27.7	3.8	-0.08	0.594	0.317	0.21	0.230	0.068
OUES	11	2.2	0.4	2.6	0.4	2.4	0.4	0.97	0.021	0.364	0.58	0.026	0.815

Notas: FC, frecuencia cardiaca; OUES, pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno; PAD, presión arterial diastólica; PAM, presión arterial media; PAS, presión arterial sistólica; pVO₂, porcentaje relacionado con el VO_{2PICO}; RCP, punto de compensación respiratoria; T0, momento inicial; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento; VCO₂, producción de dióxido de carbono; VE, ventilación; VO₂, consumo de oxígeno; W, carga de trabajo/potencia.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0,2–0,5| representan pequeños cambios, |0,5–0,8| cambios moderados y |>0,8| grandes cambios.

P_W, según la prueba de Wilcoxon; P_{KW}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

7. Escenario C

Los resultados de los seis participantes (5 hombres y 1 mujer) que en la pERG inicial T0 y la prueba T1 no pudieron llegar al máximo esfuerzo por los niveles elevados de presión arterial, se presentan en la Tabla 11.

Como muestra la Figura 15, seis participantes tuvieron que finalizar prematuramente la pERG al inicio (T0) y después de la intervención (T1), pero pudieron alcanzar los criterios máximos a las 24 semanas de seguimiento (RER_{PICO} ($M = 1.2$, $DE = 0.09$), cronotropía ($M = 94.6\%$, $DE = 12.1$), sensación de fatiga según la escala CR-10 ($M = 7.3$, $DE = 1.7$)) (Tabla 11).

Aunque al final de la intervención (T1) estas personas tuvieron que terminar prematuramente la pERG, todos los datos cardiorrespiratorios tendieron a mejorar. Hay que destacar que el VO_{2PICO} y el VO_{2RCP} mostraron un gran aumento significativo ($d = 1.06$ y $d = 0.98$, respectivamente para T0-T1). El aumento del VO_{2PICO} , corresponde a un aumento del 35,2% al finalizar el programa en comparación a los valores iniciales.

A las 24 semanas de seguimiento la mejora de las variables persiste ($d = 1.84$ y $d = 0.52$, respectivamente para T0-T2). El VO_{2PICO} mejoró un 51.9% en la fase de seguimiento en comparación a los valores iniciales. Los seis participantes aumentaron su VO_{2PICO} más de 3,5 ml/kg/min (Figura 19).

Otros valores máximos (W_{PICO} ; PAD_{PICO}), así como la OUES, también mejoraron mucho ($d = 1.03$). Asimismo, el VO_{2RCP} presentó mejora en el momento T1 en relación a los valores iniciales ($d = 0.89$; $p = .046$). Sin embargo, los valores de carga (W_{RCP}) en el RCP no reflejaron ninguna mejora.

No se apreciaron diferencias entre los grupos de estudio, ni entre el nivel de asistencia a las sesiones de ejercicio físico y de asesoramiento grupal e individual.

En las personas que no alcanzaron criterios de maximalidad en las dos primeras pERG a causa de una respuesta anormal de la presión arterial, la intervención tuvo un efecto positivo sobre la capacidad de esfuerzo (carga de trabajo) y la respuesta fisiológica al esfuerzo (W_{PICO} , VO_{2PICO} , OUES) que además persistió en el tiempo.

Tabla 11

Valores pico, valores a nivel del RCP y índices derivados obtenidos en las pERG realizadas al inicio (T0), después de la intervención (T1), y a las 24 semanas de seguimiento (T2) para el Escenario C (n = 6).

	N	T0		T1		T2		d	T0 vs T1		T0 vs T2		
		M	DE	M	DE	M	DE		Efecto intervención P _W	Efecto grupo P _{KW}	d	Efecto intervención P _W	Efecto grupo P _{KW}
TRABAJO MAXIMO													
W _{PICO} (W)	6	103.3	30.11	146.7	23.38	156.7	32.7	1.62	0.066	0.519	1.70	0.057	0.454
VO _{2PICO} (ml/kg/min)	6	19.5	6.1	25.1	4.5	28.0	3.2	1.06	0.046	0.888	1.84	0.028	0.213
VE _{PICO} (L/min)	6	56.5	13.2	74.3	14.8	93.3	15.8	1.27	0.075	0.888	2.54	0.028	0.667
FC _{PICO} (bpm)	6	139.5	33.22	158.5	22.42	170.2	17.20	0.68	0.116	0.651	1.22	0.046	0.807
PAS _{PICO} (mmHg)	6	190.3	13.88	198.0	18.89	185.0	16.91	0.47	0.078	0.643	-0.35	0.500	0.304
PAD _{PICO} (mmHg)	6	97.8	6.34	95.0	8.17	89.7	8.89	-0.39	0.496	0.304	-1.07	0.042	0.294
PAM _{PICO} (mmHg)	6	128.7	7.50	129.3	10.67	121.4	11.37	0.07	0.917	0.304	-0.77	0.093	0.304
PUNTO DE COMPENSACION RESPIRATORIA													
W _{RCP} (W)	6	93.3	26.6	113.3	15.1	96.7	37.2	0.96	0.276	0.609	0.11	0.916	0.635
VO _{2RCP} (ml/kg/min)	6	13.9	3.9	17.7	4.6	16.1	4.6	0.89	0.046	0.304	0.52	0.344	0.529
pVO _{2RCP} (% VO _{2PICO})	6	72.5	11.9	70.3	13.1	57.4	14.2	-0.18	0.753	0.304	-1.16	0.028	0.213
INDICES													
Pendiente VE/VCO ₂	6	27.6	2.3	27.9	2.8	30.1	2.7	0.13	0.600	0.145	1.01	0.028	0.377
OUES	6	1.9	0.3	2.2	0.3	2.3	0.4	0.84	0.173	0.304	1.03	0.028	0.953

Notas: FC, frecuencia cardiaca; OUES, pendiente de eficiencia de consumo de oxígeno; PAD, presión arterial diastólica; PAM, presión arterial media; PAS, presión arterial sistólica; pVO₂, porcentaje relacionado con el VO_{2PICO}; RCP, punto de compensación respiratoria; T0, momento inicial; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento; VCO₂, producción de dióxido de carbono; VE, ventilación; VO₂, consumo de oxígeno; W, carga de trabajo/potencia.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0,2–0,5| representan pequeños cambios, |0,5–0,8| cambios moderados y |>0,8| grandes cambios.

P_W, según la prueba de Wilcoxon; P_{KW}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

8. Coordinación cardiorrespiratoria

Se analizaron 173 pERG que cumplieron los criterios de idoneidad para el análisis de PCs según la prueba de esfericidad de Bartlett ($p < .005$) y el índice KMO de Kaiser-Mayer-Olkin. Los resultados del análisis de la coordinación cardiorrespiratoria (CRC) durante la pERG mediante PCA se presentan en la Tabla 12.

La prueba de esfericidad de Bartlett ($p < .001$) y el índice KMO de Kaiser-Mayer-Olkin (Denis, 2016), en T0 ($M = .552$; $DE = .067$), T1 ($M = .555$; $DE = .069$) y T2 ($M = .564$; $DE = .078$), indicaron la idoneidad del análisis de CPs de los resultados de las pERG analizadas.

8.1 Número de componentes principales

Como se muestra en la Tabla 12, el análisis PCA de las variables fisiológicas registradas (FC, VE, $P_{ET}O_2$ y $P_{ET}CO_2$) en la pERG inicial puso de manifiesto que la mayoría (78,7%) de las personas presentaron dos componentes principales (2 CPs) y el resto presentaron un componente principal (1 CP). Ninguna persona evidenció más de 2 componentes principales con autovalores iguales o superiores a 1.

Tabla 12

Distribución de personas con un CP o dos CPs en la pERG en los distintos momentos (T0, T1 y T2) del estudio.

Grupos de estudio	N	T0				T1				T2			
		1 CP		2 CPs		1 CP		2 CPs		1 CP		2 CPs	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Todos	61	13	21.3	48	78.7	18	29.5	43	70.5	25	41.0	36	59.0
GAI	20	0	0.0	20	100	5	25.0	15	75.0	8	40.0	12	60.0
GAC	23	7	30.4	16	69.6	7	30.4	16	69.5	8	34.8	15	65.2
GC	18	6	33.3	12	66.7	6	33.3	12	66.7	9	50.0	9	50.0

Notas: 1 CP, indica que presentan 1 componente principal; 2 CPs, indica que presentan 2 componentes principales; GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T0, momento inicial del programa; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento.

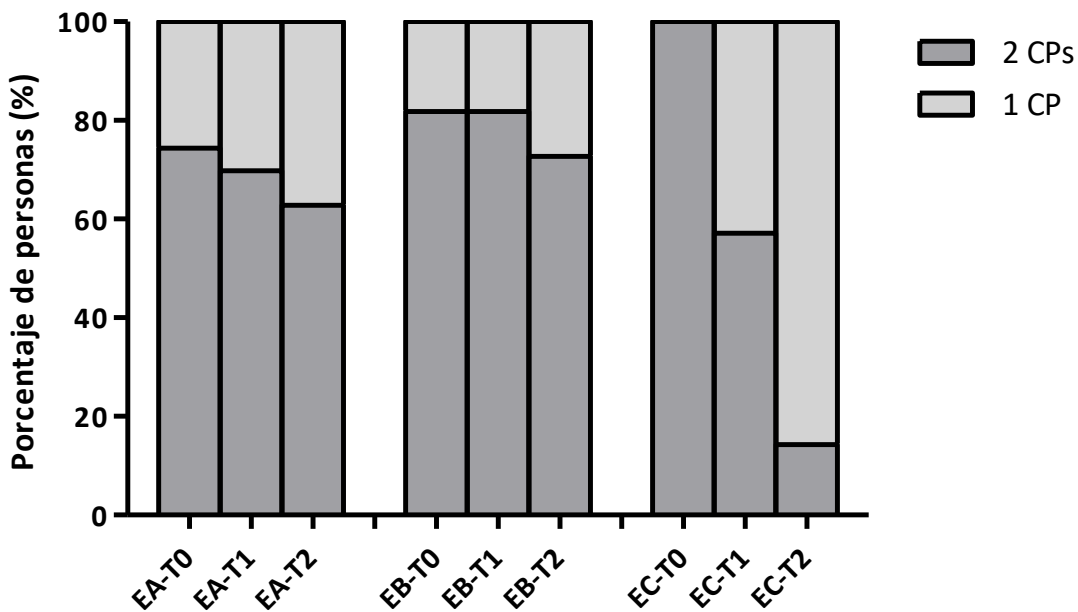
Los datos se muestran como número de participantes (n) y porcentaje del número de participantes (%).

En T0 el grupo GAI presenta más personas con 2 CPs que los otros dos grupos de estudio ($X^2(2, n = 61) = 8.110, p = .017$). También se observa que las personas que en la pERG mostraban un CP alcanzaron niveles de ventilación (VE_{PICO}) y de cociente respiratorio (RER_{PICO}) superiores a los de las personas que presentaron 2 CPs ($M_{1CP} = 76.2$ L/min (DE = 14.6) versus $M_{2CP} = 61.1$ L/min (DE = 15.5), $t(2, 59) = 3.168, p = .002$) y ($M_{1CP} = 1.20$ (DE = 0.07) versus $M_{2CP} = 1.13$ (DE = 0.11), $t(2, 59) = 2.191, p = .032$) $U = 149.5, p = 0.004$ y $U = 200, p = .048$, respectivamente).

Sin embargo, no existen diferencias entre los distintos escenarios determinados por los criterios de finalización de la pERG ($X^2(2, n = 61) p = .297$).

Figura 22

Porcentaje de personas con 1 CP o 2 CPs según el escenario.

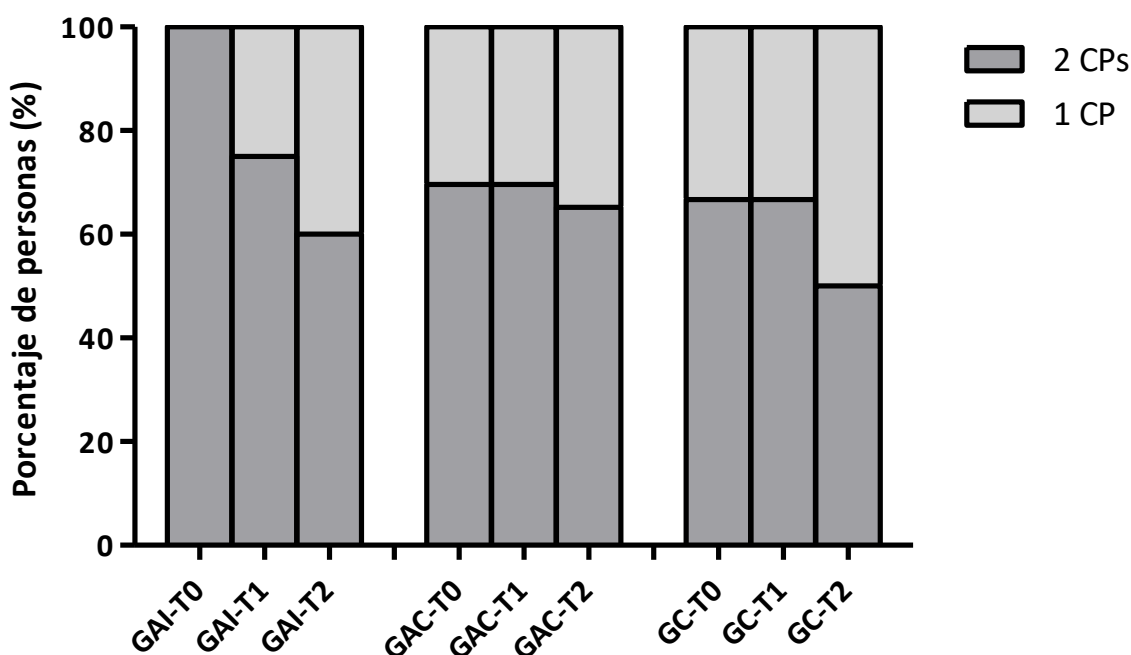


Notas: EA, escenario A; EB, escenario B; EC, escenario C; T0, evaluación inicial; T1, evaluación al finalizar las 16 semanas de intervención; T2, evaluación de seguimiento a las 24 semanas de finalizar la intervención.

1CP indica que presentan 1 componente principal; 2CPs indica que presentan 2 componentes principales.

Figura 23

Porcentaje de personas con 1 CP o 2 CPs según el grupo.



Notas: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T0, evaluación inicial; T1, evaluación al finalizar las 16 semana de intervención; T2, evaluación de seguimiento a las 24 semanas de finalizar la intervención.

1CP indica que presentan 1 componente principal; 2CPs indica que presentan 2 componentes principales.

Tampoco se detectaron diferencias entre las personas que presentaron 2 CPs y las que presentaron un solo CP en la pERG inicial, en relación con el riesgo metabólico (índice MetSSS), los hábitos de actividad física (Pasos/día); el nivel de sedentarismo (% horas de vigilia en conductas sedentarias) o el nivel de condición física (VO_{2PICO}).

Al finalizar la intervención de 16 semanas, el número de personas que presentaron 2 CPs disminuyó mientras que aumentó el número de personas que muestran 1 CP. A las 24 semanas de seguimiento esta tendencia se consolida y un 41% ($n = 25$) de las personas muestran 1 CP en T2 en comparación a solamente 13 personas (21.3%) en T0 ($\chi^2 (2, n = 61) = 5504.1; p = .019$).

También se puede apreciar que para cada grupo de estudio disminuye el número de personas con 2 CPs y aumenta el de personas con 1 CP, siendo, para todos los grupos de estudio, T2 el momento en el que se registra un número mayor de personas con 1 CP. Esta tendencia solamente es significativa para el GAI ($X^2(2, n = 20) = 1000.1; p = .0016$). En este grupo de estudio un 40% de las personas del grupo pasan de presentar 2 CPs a 1 CP entre T0-T2, en comparación a un 4,3% en el GAC y un 17% en el GC.

Según los escenarios, se aprecia que en el Escenario C hay una mayor proporción de personas que reducen el número de CPs entre T0 y T2 en comparación a los escenarios A y B ($X^2(4, n = 61) = 12.264; p = .015$) ($X^2(1, n = 7) = 8.643; p = .003$) (Figura 22).

No se aprecian efectos del grado de cumplimiento en las sesiones de ejercicio físico o de asesoramiento grupal o individual, ni de los cambios en los hábitos de actividad física y tiempo sedentario sobre el cambio del número de CPs en las pERG.

Las personas que mejoraron su CRC y pasaron de 2 CPs en T0 a 1 CP en T2, también muestran una mejora de su VO_{2PICO} en comparación a las personas que empeoraron su CRC (diferencia de medias = 7.9 ml/kg/min, 95% IC [1.5, 14.2], $F(2, 60) = 5.090, p = .012$, para T0-T2). No se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre las personas que mejoran la CRC y las que no modifican su CRC entre T0 y T2 (diferencia de medias = 3.0 ml/kg/min, 95% IC [-0.9, 6.9], $F(2, 60) = 5.090, p = .159$, para T0-T2).

Parece que la intervención ha tenido una influencia positiva sobre la CRC de las personas que participaron en el estudio aumentando el número de personas en las que un CP puede explicar la adaptación fisiológica al esfuerzo. Además, se ha podido evidenciar que el GAI fue quién provocó la mayor mejora de la CRC.

Por otro lado, en el escenario C, un número mayor de personas presentaron una mayor mejora de la CRC en comparación a los demás escenarios.

8.2 Autovalores (*eigenvalue*) de los componentes principales

El autovalor del CP₁ que es determinado metodológicamente mediante algunos criterios, representa la coordinación entre las variables utilizadas en el análisis del PCA.

En la pERG inicial el autovalor del CP₁ era de 2.71 (n = 61 (DE = 0.39)) y el porcentaje de la varianza total explicada era de 67.7% (DE = 9.8%), el CP₂ era de 1.15 (n = 43 (DE = 0.36)) con varianza total explicada de 28.7% . Existen diferencias entre los grupos de estudio. El GAI muestra un autovalor del CP₁ menor que en los grupos GAC i GC (CP₁ (n = 61 (H₍₂₎) = 7.56, p = .023))) (Tabla 13).

Aunque no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre escenarios (CP₁ (n = 61 (H₍₂₎) = 5.45, p = .065), en el escenario C el autovalor (M = 2.44, DE = 0.24) y la varianza explicada por el CP₁ (M = 61%, DE = 6%) son algo inferiores a los datos de los escenarios A y B (Tabla 14).

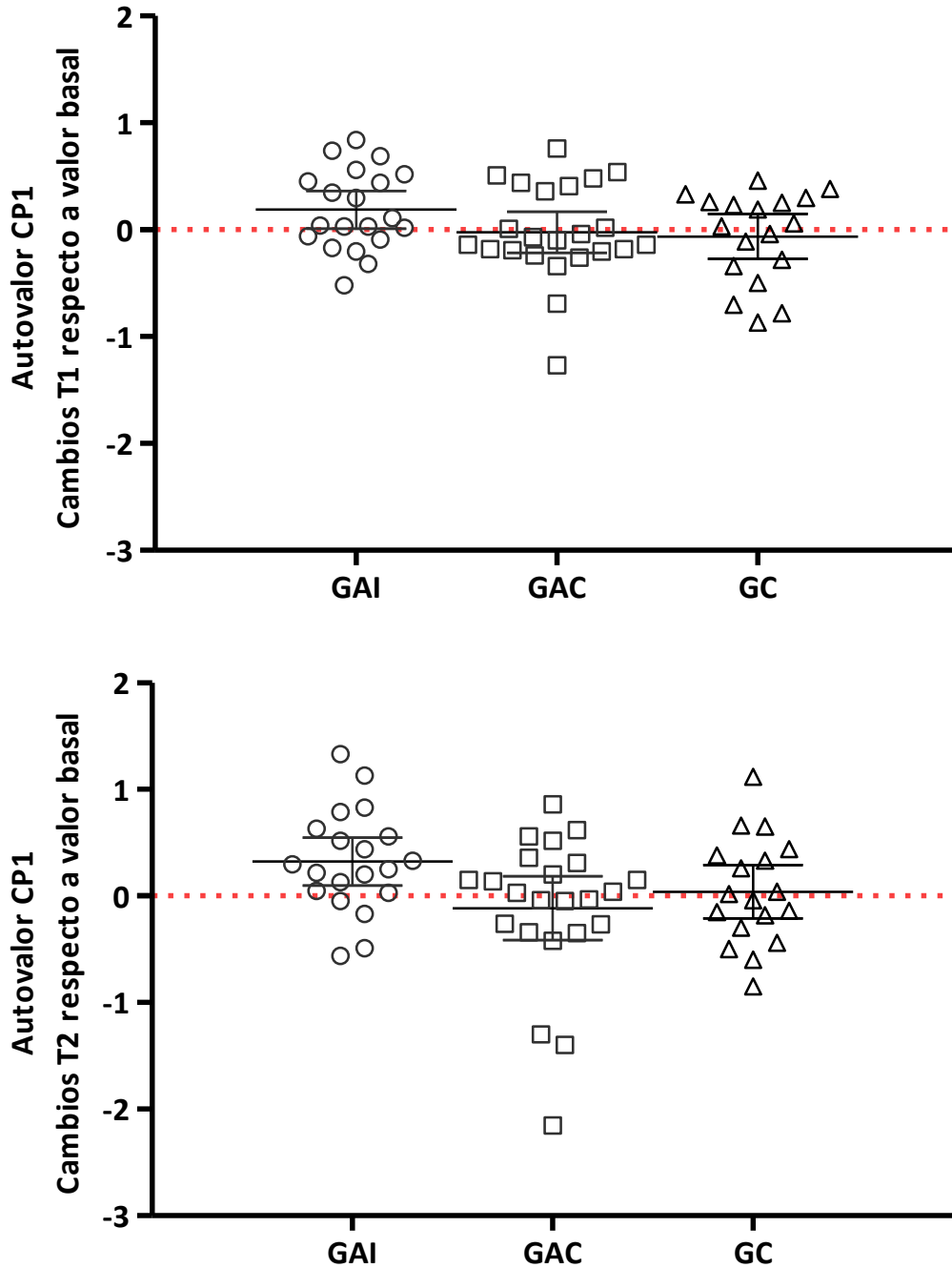
No se detectó ninguna asociación entre el autovalor y/o la varianza explicada por el CP₁, y el nivel de riesgo metabólico (índice MetSSS), los hábitos de actividad física (pasos/día), el nivel de sedentarismo (% horas de vigilia en conductas sedentarias) o el nivel de condición física (VO_{2PICO}).

A lo largo de la intervención se aprecia que el autovalor y el porcentaje de la varianza total explicada por el CP₁ tienden a aumentar (Tabla 13, Tabla 14).

Aunque no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre grupos de estudio, parece que en el GAI se produce un mayor aumento del autovalor y de la varianza explicada por el CP₁ ($d = 0.70$ versus $d = -0.06$ y $d = 0.16$) (Figura 24).

Figura 24

Cambios individuales de todos los participantes entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para el autovalor del CP₁.

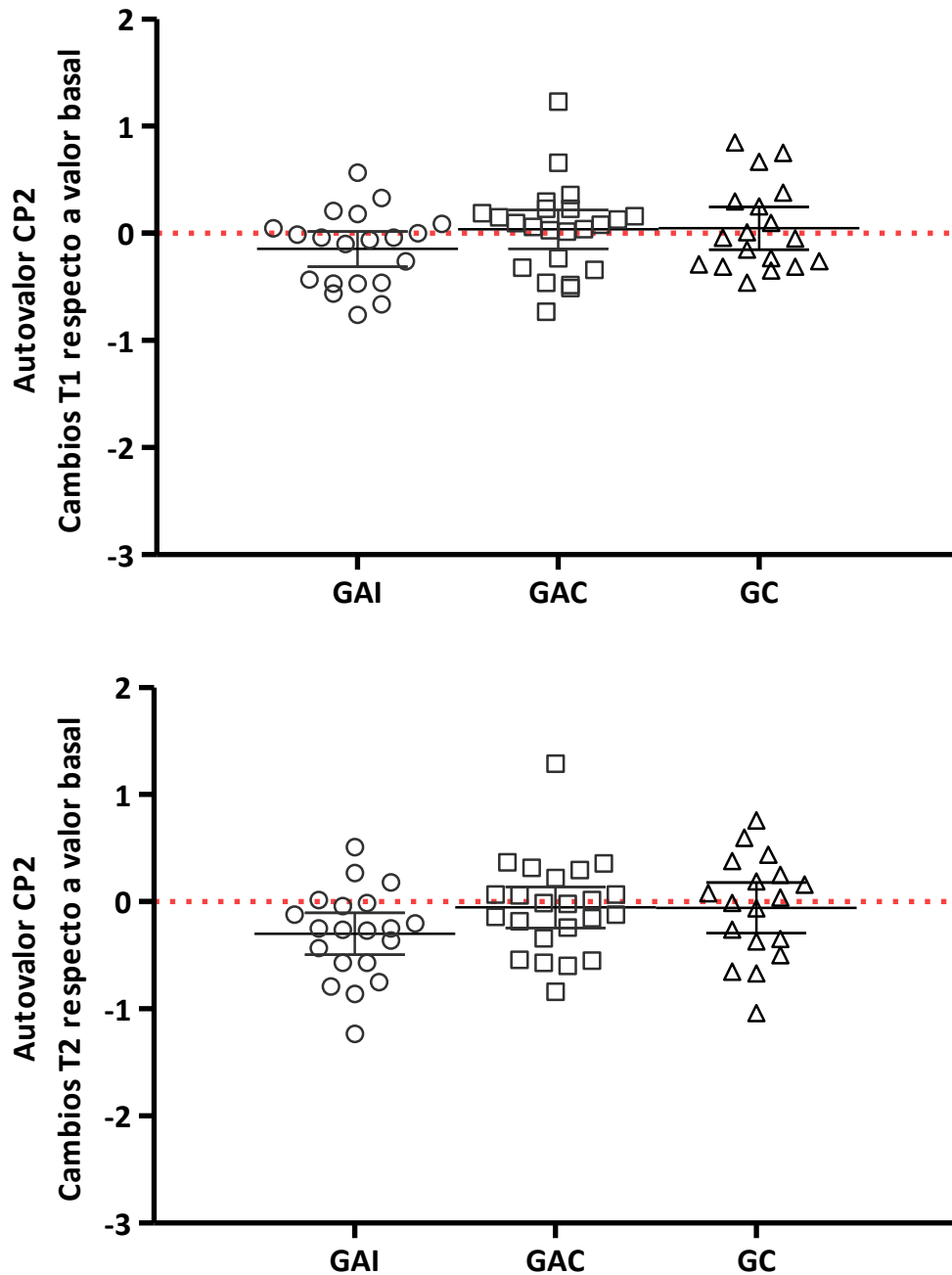


Notas: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; CP₁, componente principal 1.

Cada símbolo indica una persona.

Figura 25

Cambios individuales de todos los participantes entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para el autovalor del CP₂.



Notas: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; CP₂, componente principal 2.

Cada símbolo indica una persona.

Al analizar el autovalor del CP_1 según el escenario de análisis, se evidenció que en el escenario A, el autovalor de CP_1 no se modifica en T1 ($d = 0.01$) y en T2 ($d = -0.07$) para todos los participantes en comparación a los valores iniciales. Sin embargo, para el grupo GAI, la intervención provocó aumento significativo en la fase de seguimiento con relación a los valores iniciales ($Z = -2.229$; $p = .026$; $d = 0.75$) (Figura 26).

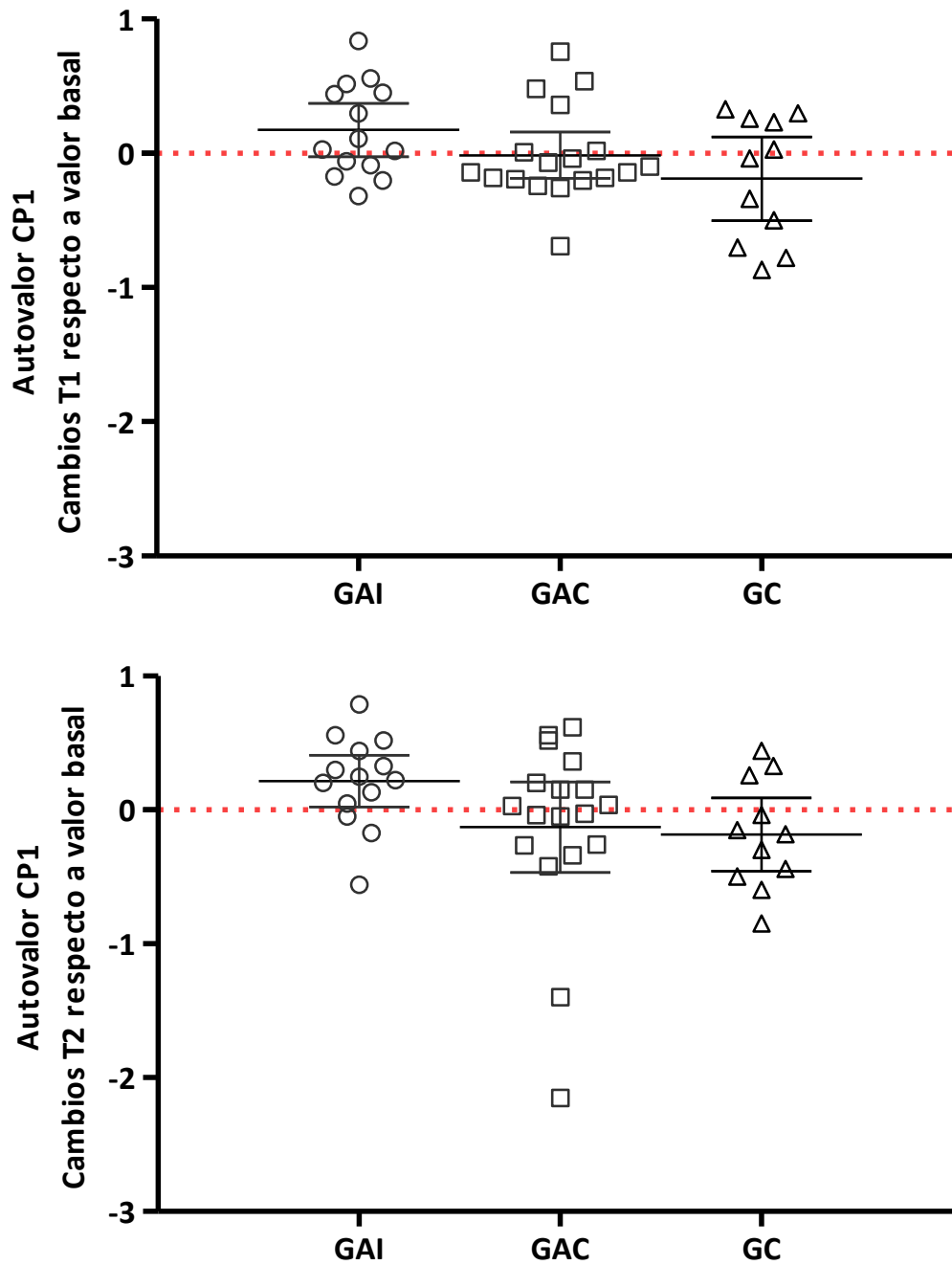
No se observaron diferencias significativas para el escenario B para el autovalor del CP_1 en ningún momento de la intervención. Aunque se observa para el GC, un aumento considerable del autovalor del CP_1 en la fase de seguimiento en comparación al momento inicial ((T0 - T2), $d = 0.98$).

Finalmente, en el escenario C, los participantes presentaron aumento del autovalor del CP_1 al finalizar el programa de ejercicios supervisados, y significativo al acabar la fase de seguimiento del programa ($p = .028$) (Figura 28).

A lo largo de la intervención parece que en el GAI fue el grupo que más mejoró la CRC debido el aumento del autovalor del CP_1 . Además de ser el único grupo que presentó mejora de la CRC de aquellos participantes que fueron capaces de finalizar la pERG con criterio máximo (escenario A).

Figura 26

Cambios individuales de todos los participantes del escenario A, entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para el autovalor del CP₁.

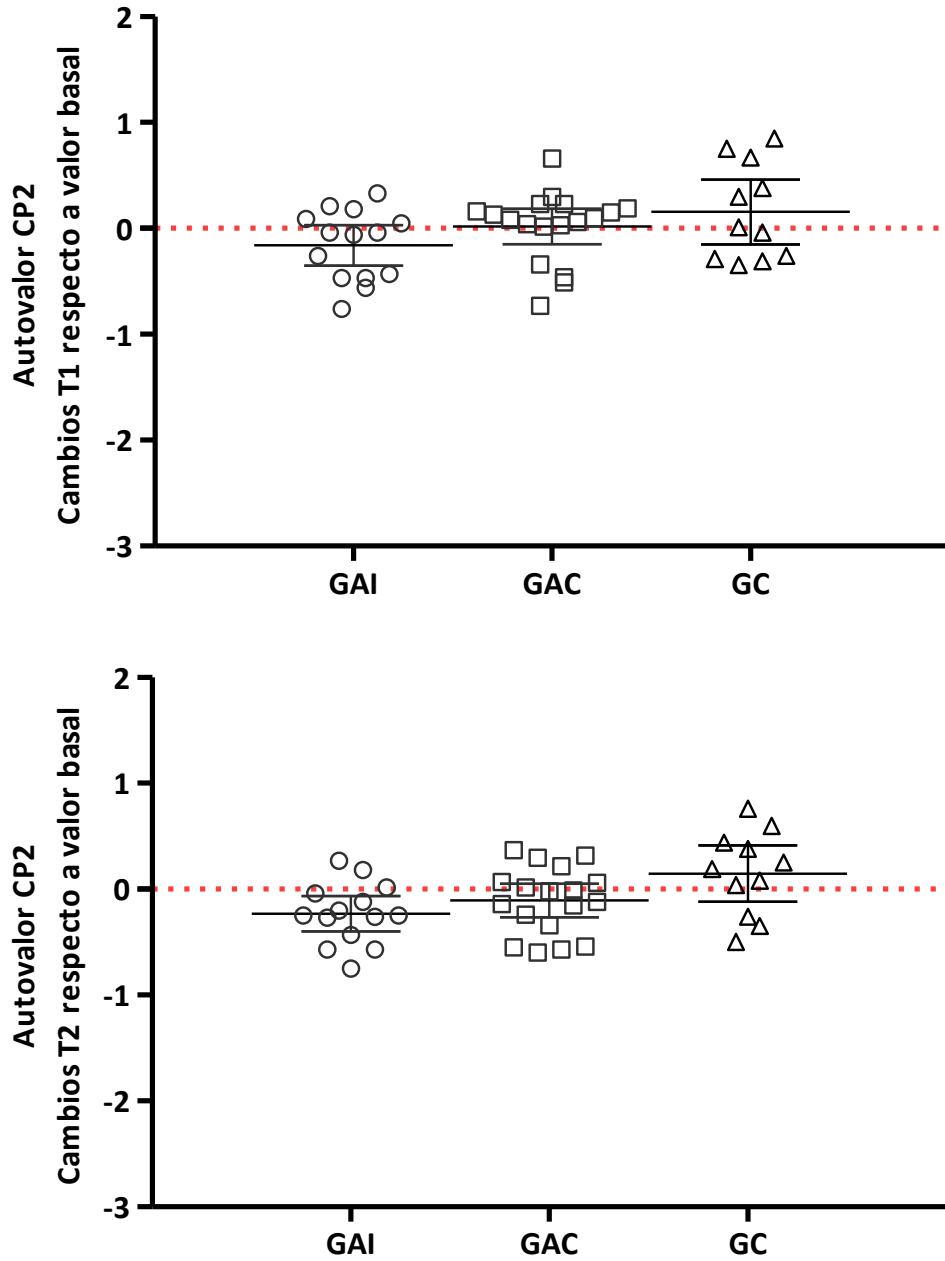


Notas: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; CP₁, componente principal 1.

Cada símbolo indica una persona.

Figura 27

Cambios individuales de todos los participantes del escenario A, entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para el autovalor del CP₂.

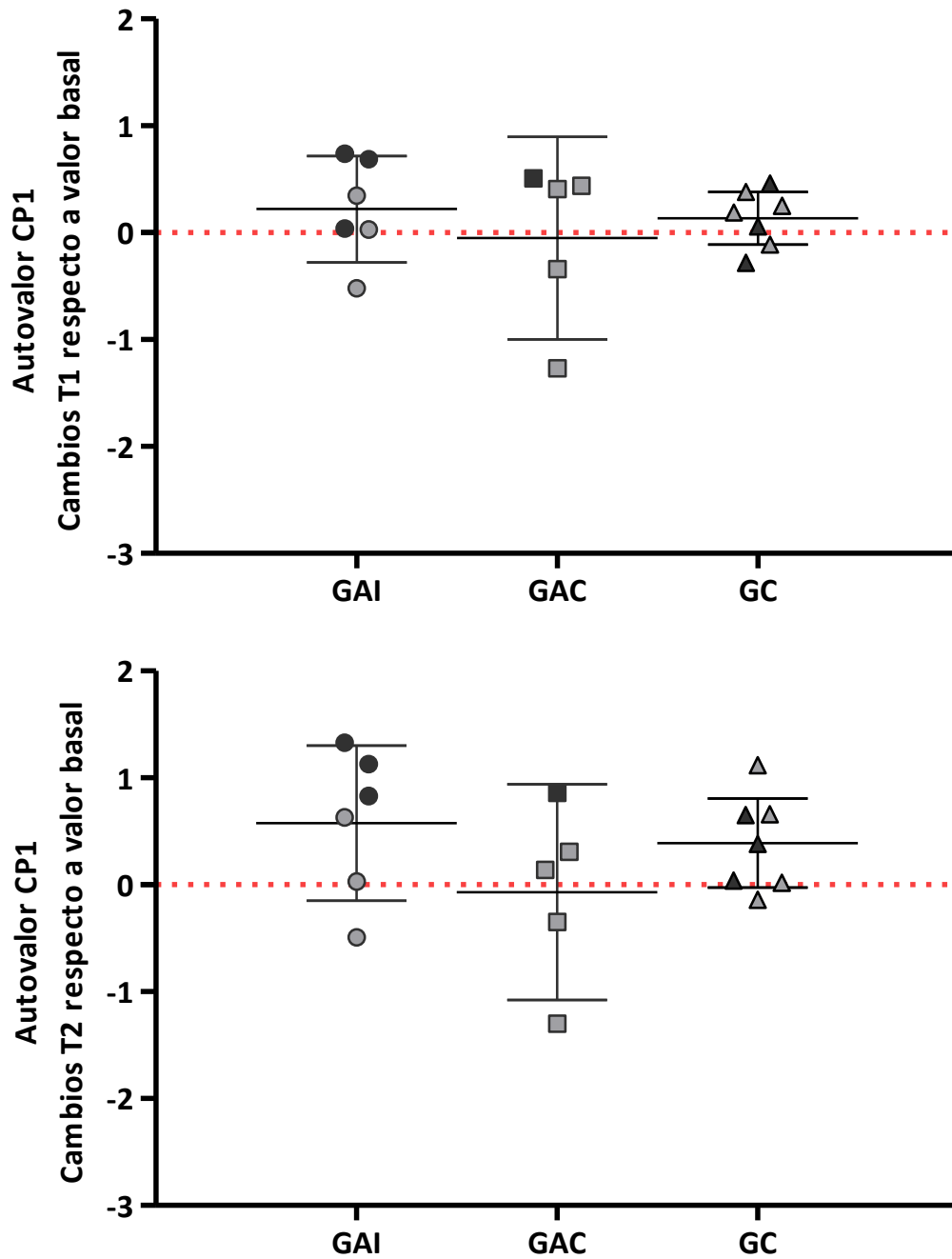


Notas: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; CP₂, componente principal 2.

Cada símbolo indica una persona.

Figura 28

Cambios individuales los participantes del escenario B y C, entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para el autovalor del CP₁.

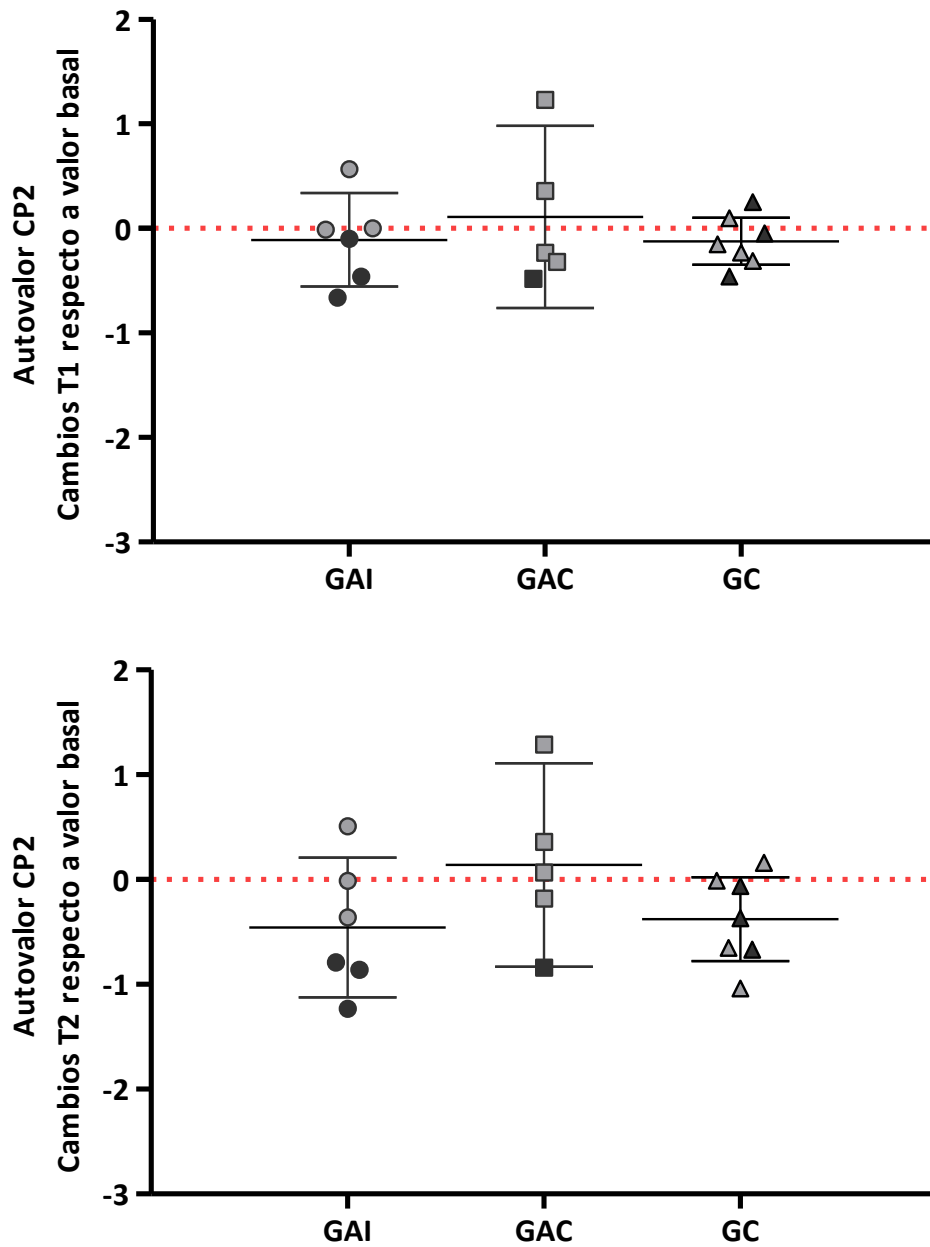


Notas: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; CP₁, componente principal 1.

Los símbolos grises indican Escenario B; negros indican Escenario C.

Figura 29

Cambios individuales los participantes del escenario B y C, entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para el autovalor del CP₂.



Notas: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; CP₂, componente principal 2.

Cada símbolo indica una persona.

Tabla 13

Autovalores para el CP₁ y CP₂ según el grupo de estudio y momento.

Grupos de estudio	N	T0		T1		T2		T0 vs T1			T0 vs T2			
		M	DE	M	DE	M	DE	d	Efecto de la intervención	Efecto del grupo	d	Efecto de la intervención	Efecto del grupo	
									P _w	P _{KW}		P _w	P _{KW}	
CP ₁	Todos	61	2.71	0.39	2.75	0.33	2.79	0.52	0.10	.379		0.16	.110	
	GAI	20	2.50	0.24	2.69	0.29	2.83	0.41	0.70	.057	.148	0.97	.007	.076
	GAC	23	2.76	0.39	2.74	0.33	2.64	0.68	-0.06	.808		-0.22	.951	
	GC	18	2.89	0.42	2.83	0.37	2.93	0.33	-0.16	.744	0.10	.811		
CP ₂	Todos	61	1.16	0.36	1.14	0.33	1.02	0.37	-0.06	.380		-0.37	.140	
	GAI	20	1.35	0.22	1.21	0.30	1.06	0.39	-0.56	.057	.225	-0.98	.007	.135
	GAC	23	1.11	0.36	1.15	0.34	1.05	0.40	0.11	.808		-0.15	.831	
	GC	18	1.00	0.40	1.05	0.35	0.95	0.32	0.13	.744	-0.16	.811		

Notas: CP₁, indica el componente principal 1; CP₂, indica el componente principal 2; GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T0, momento inicial del programa; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0,2–0,5| representan pequeños cambios, |0,5–0,8| cambios moderados y |>0,8| grandes cambios.

P_w, según la prueba de Wilcoxon; P_{KW}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 14

Autovalores para el CP₁ y CP₂, según el escenario, grupo de estudio y momento.

Grupos de estudio	N	T0		T1		T2		d	T0 vs T1		T0 vs T2		
		M	DE	M	DE	M	DE		Efecto de la intervención P _w	Efecto del grupo P _{kw}	d	Efecto de la intervención P _w	Efecto del grupo P _{kw}
ESCENARIO A													
CP ₁	Todos	43	2.77	0.36	2.77	0.31	2.74	0.52	0.01	.942		-0.07	.681
	GAI	14	2.55	0.24	2.72	0.26	2.76	0.32	0.68	.140	.127	0.75	.026
	GAC	18	2.81	0.31	2.80	0.34	2.68	0.75	-0.04	.396		-0.24	.913
	GC	11	2.98	0.43	2.79	0.36	2.79	0.23	-0.47	.213		-0.54	.182
CP ₂	Todos	43	1.12	0.35	1.12	0.32	1.04	0.31	-0.01	.942		-0.26	.791
	GAI	14	1.34	0.23	1.18	0.27	1.11	0.29	-0.62	.140	.177	-0.87	.026
	GAC	18	1.07	0.30	1.09	0.34	0.96	0.36	0.06	.396		-0.34	.777
	GC	11	0.93	0.42	1.08	0.34	1.07	0.22	0.41	.213		0.46	.182
ESCENARIO B													
CP ₁	Todos	11	2.66	0.51	2.64	0.42	2.71	0.47	-0.03	.657		0.12	.594
	GAI	3	2.41	0.37	2.37	0.09	2.47	0.18	-0.18	1.000	.824	0.21	.593
	GAC	4	2.69	0.66	2.50	0.28	2.39	0.24	-0.41	1.000		-0.65	.465
	GC	4	2.80	0.50	2.98	0.51	3.22	0.34	0.35	.144		0.98	.273
CP ₂	Todos	11	1.18	0.45	1.26	0.42	1.20	0.47	0.19	.657		0.03	.594
	GAI	3	1.39	0.27	1.54	0.10	1.44	0.17	0.81	1.000	.515	0.21	.593
	GAC	4	1.13	0.58	1.39	0.28	1.52	0.24	0.60	1.000		0.95	.465
	GC	4	1.08	0.49	0.93	0.49	0.69	0.37	-0.31	.144		-0.90	.273
ESCENARIO C													
CP ₁	Todos	7	2.44	0.24	2.89	0.26	3.31	0.33	1.41	.075		2.98	.028
	GAI	3	2.38	0.03	2.87	0.35	3.48	0.28	2.52	.109	.377	6.73	.109
	GAC	1	2.14	-	2.64	-	3.00	-	-	-		-	-
	GC	2	2.69	0.25	2.78	0.27	3.20	0.44	0.34	.655		1.48	.180
CP ₂	Todos	7	1.35	0.22	1.09	0.24	0.67	0.35	-1.17	.063		-2.42	.018
	GAI	3	1.40	0.11	1.03	0.34	0.44	0.26	-1.64	.109	.319	-5.13	.109
	GAC	1	1.70	-	1.22	-	0.87	-	-	-		-	-
	GC	3	1.19	0.16	1.10	0.20	0.82	0.41	-0.48	.593		-1.29	.109

Notas: CP₁, indica componente principal 1; CP₂, indica componente principal 2; GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T0, momento inicial del programa; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0,2–0,5| representan pequeños cambios, |0,5–0,8| cambios moderados y >0,8| grandes cambios.

P_w, según la prueba de Wilcoxon; P_{kw}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

8.3 Carga de las variables en el CP.

A T0, se observa predominancia de la carga de las variables FC_{CP1} y de la VE_{CP1} en el CP₁; mientras que en el CP₂ predomina la $P_{ETCO2CP2}$. Al finalizar el programa de 16 semanas, así como también a las 24 semanas de seguimiento, se aprecia el mismo patrón de los resultados presentados anteriormente tanto para el CP₁, como para el CP₂. Conjuntamente, destacar que la P_{ETO2} aumentó gradualmente su carga en el CP₁ a lo largo del programa.

Otro punto importante observado en T0 es que la carga de la VE_{CP1} ($H_{(1)} = 8.093$; $p = .004$) y de la $P_{ETO2CP1}$ ($H_{(1)} = 25.376$; $p = .000$) son mayores en las personas con un CP en comparación a las que presentan dos CPs. Además, la carga de la P_{ETCO2} es positiva ($M = 0.13$, $DE = 0.48$) en las personas con dos CPs y negativa ($M = -0.64$, $DE = 0.38$) en las personas con un CP ($H_{(1)} = 22.278$; $p = .000$).

Tanto el programa de ejercicio físico semi-supervisado, como el seguimiento se asocian, en el GAI, a un aumento significativo de la carga de la $P_{ETCO2CP1}$ (T0-T1; $d = -0.95$; $p = .000$) y (T0-T2; $d = -1.17$; $p = .001$) respectivamente. Asimismo, también se observa un aumento de la carga de la $P_{ETO2CP1}$ a lo largo del programa (T0-T1; $d = 0.87$; $p = .001$) y ($d = 0.75$; $p = .003$) respectivamente.

En resumen, se observó que el CP₁ representa bien la evolución de la FC y la VE en los diferentes momentos (T0, T1 y T2), y que a lo largo de la intervención la P_{ETO2} aumentó considerablemente su importancia en este componente. La P_{ETCO2} está mejor representada por el CP₂, tanto al inicio, como en los demás momentos de la intervención.

Tabla 15

Efecto del programa en la carga de las variables analizadas en el CP₁ de todos los participantes.

	Grupos de estudio	N	T0		T1		T2		d	T0 vs T1		T0 vs T2	
			M	DE	M	DE	M	DE		Efecto de la intervención P _W	Efecto del grupo P _{KW}	d	Efecto de la intervención P _W
FC _{CP1}	Todos	61	.932	.042	.932	.043	.921	.045	0.01	.643		-0.24	.111
	GAI	20	.935	.034	.932	.038	.925	.046	-0.08	.433	.662	-0.24	.481
	GAC	23	.925	.052	.938	.040	.920	.041	0.26	.738		-0.11	.287
	GC	18	.936	.037	.925	.053	.917	.052	-0.26	.571	-0.43	.394	.647
VE _{CP1}	Todos	61	.926	.100	.956	.028	.946	.039	0.45	.126		0.28	.798
	GAI	20	.908	.102	.957	.030	.944	.047	0.74	.052	.030	0.49	.322
	GAC	23	.921	.128	.961	.018	.941	.041	0.55	.082		0.24	.862
	GC	18	.955	.038	.947	.034	.953	.023	-0.20	.177	-0.03	.463	
P _{ETCO₂CP1}	Todos	61	-.033	.562	-.127	.497	-.295	.507	-0.18	.242		-0.49	.002
	GAI	20	.253	.459	-.158	.409	-.300	.486	-0.95	.000	.001	-1.17	.001
	GAC	23	-.199	.490	-.130	.472	-.234	.566	0.14	.316		-0.07	.456
	GC	18	-.136	.650	-.087	.628	-.366	.466	0.08	.349	-0.41	.177	
P _{ETO₂CP1}	Todos	61	.650	.498	.786	.300	.810	.317	0.34	.183		0.39	.024
	GAI	20	.425	.608	.809	.269	.793	.374	0.87	.001	.001	0.75	.003
	GAC	23	.790	.391	.817	.197	.755	.366	0.09	.162		-0.09	.445
	GC	18	.721	.414	.722	.424	.900	.109	0.00	.845	0.68	.187	

Notas: CP₁, indica componente principal 1; GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T0, momento inicial del programa; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0,2–0,5| representan pequeños cambios, |0,5–0,8| cambios moderados y >0,8| grandes cambios.

P_W, según la prueba de Wilcoxon; P_{KW}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

Tabla 16

Efecto del programa en la carga de las variables analizadas en el CP₂ de todos los participantes.

	Grupos de estudio	N	T0		T1		T2		T0 vs T1			T0 vs T2		
			M	DE	M	DE	M	DE	d	Efecto de la intervención P _W	Efecto del grupo P _{KW}	d	Efecto de la intervención P _W	Efecto del grupo P _{KW}
FC _{CP2}	Todos	61	.287	.131	.290	.155	.332	.131	0.02	.405		0.34	.022	
	GAI	20	.273	.105	.316	.107	.331	.118	0.41	.035		0.52	.040	
	GAC	23	.306	.140	.269	.163	.332	.129	-0.24	.843	.352	0.19	.263	.934
	GC	18	.280	.147	.288	.189	.331	.154	0.05	.983		0.34	.368	
VE _{CP2}	Todos	61	.239	.186	.192	.124	.218	.140	-0.30	.387		-0.13	.680	
	GAI	20	.287	.214	.191	.135	.239	.137	-0.55	.065	.027	-0.27	.779	
	GAC	23	.244	.178	.167	.113	.219	.159	-0.53	.201		-0.15	.761	.674
	GC	18	.178	.151	.226	.123	.193	.120	0.35	.102		0.11	.332	
P _{ETCO2CP2}	Todos	61	.545	.615	.645	.558	.636	.490	0.17	.566		0.16	.895	
	GAI	20	.549	.654	.837	.327	.684	.452	0.59	.881		0.24	.794	
	GAC	23	.659	.541	.635	.604	.553	.574	-0.04	.891	.645	-0.19	.121	.208
	GC	18	.394	.660	.444	.650	.690	.423	0.08	.276		0.55	.136	
P _{ETO2CP2}	Todos	61	-.056	.547	-.164	.482	-.148	.428	-0.21	.289		-0.19	.624	
	GAI	20	-.103	.666	-.305	.394	-.169	.417	-0.38	.970		-0.12	.654	
	GAC	23	-.146	.421	-.184	.482	-.087	.517	-0.08	.412	.619	0.13	.867	.166
	GC	18	.111	.536	.017	.534	-.203	.311	-0.18	.157		-0.74	.084	

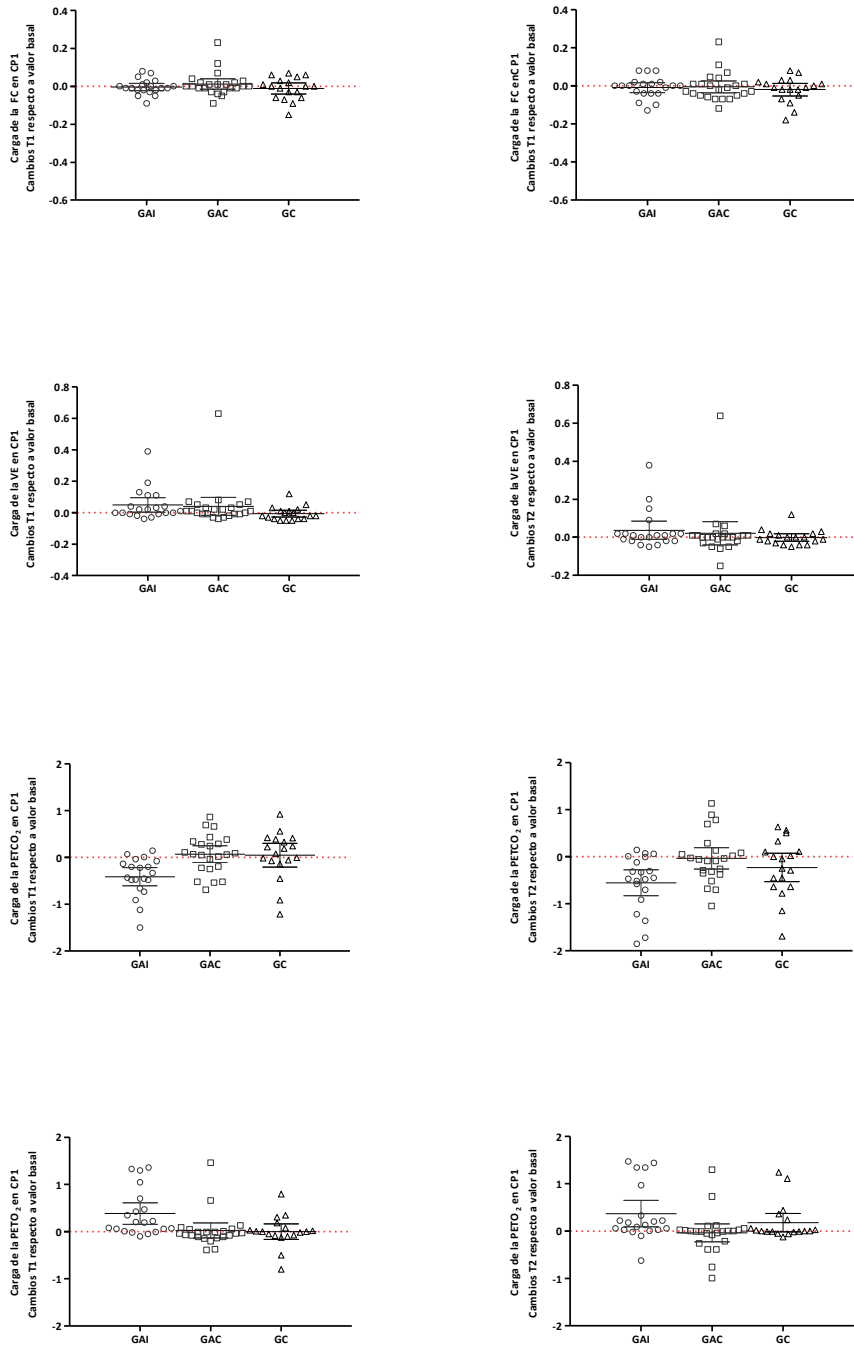
Notas: CP₂, indica componente principal 2; GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T0, momento inicial del programa; T1, después de la intervención de 16 semanas; T2, a las 24 semanas de seguimiento.

Los datos se muestran como media (M) y desviación estándar (DE); Valor d de Cohen para el tamaño del efecto estandarizado (d). |0.2–0.5| representan pequeños cambios, |0.5–0.8| cambios moderados y >0.8| grandes cambios.

P_W, según la prueba de Wilcoxon; P_{KW}, según la prueba de Kruskal-Wallis.

Figura 30

Cambios individuales entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para la carga de las variables FC, VE, P_{ETCO_2} y P_{ETO_2} en el CP₁ de todos los participantes.

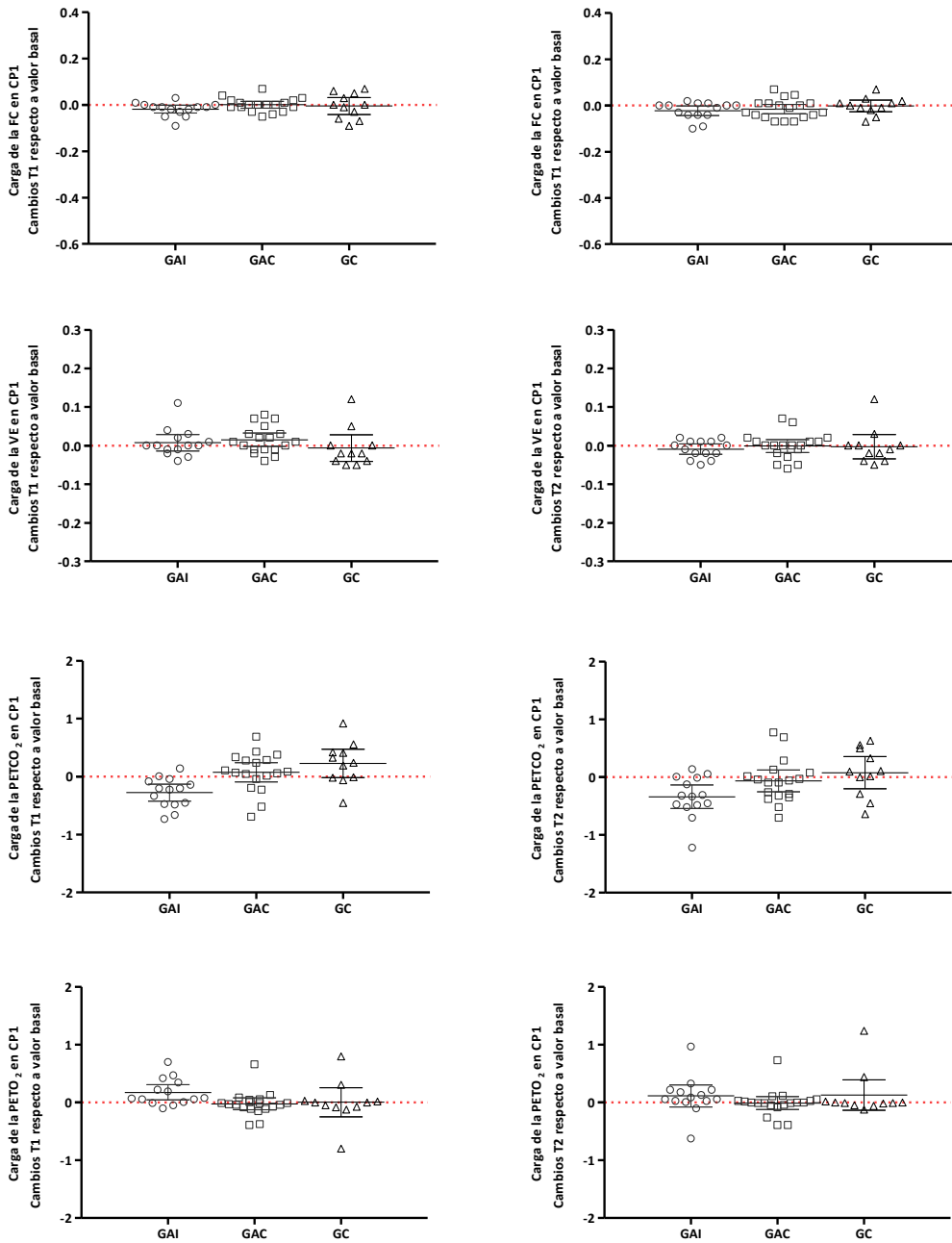


Nota: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; FC, frecuencia cardíaca; VE, ventilación, P_{ETCO_2} , presión espiratoria de dióxido de carbono; P_{ETO_2} , presión espiratoria de oxígeno.

Cada símbolo indica una persona.

Figura 31

Cambios individuales entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para la carga de las variables FC, VE, P_{ETCO_2} y P_{ETO_2} en el CP₁ del escenario A.

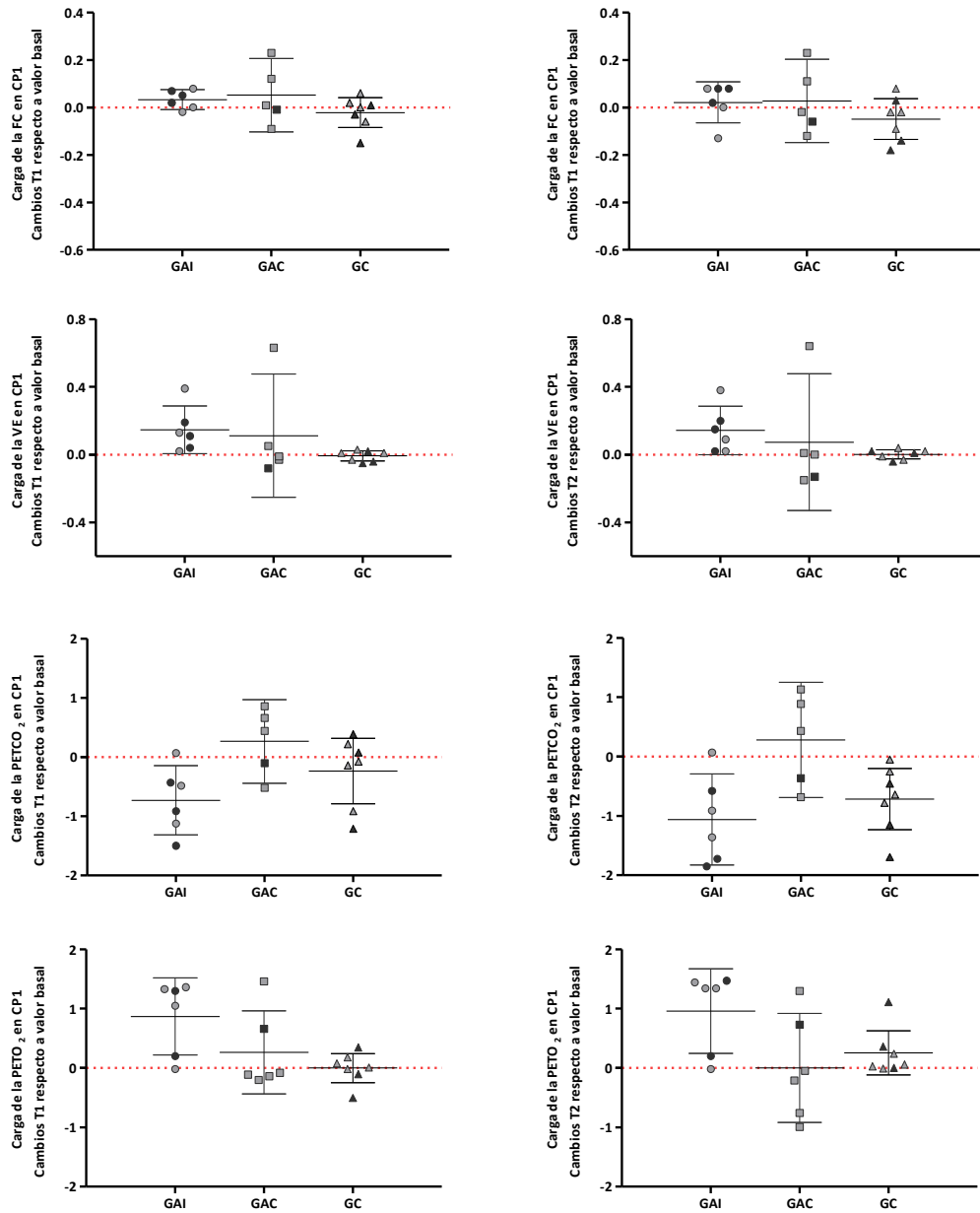


Nota: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; FC, frecuencia cardíaca; VE, ventilación, P_{ETCO_2} , presión espiratoria de dióxido de carbono; P_{ETO_2} , presión espiratoria de oxígeno.

Cada símbolo indica una persona.

Figura 32

Cambios individuales entre T0 y T1, y entre T0 y T2 para la carga de las variables FC, VE, P_{ETCO_2} y P_{ETO_2} en el CP₁ del escenario B y C.



Nota: GAC, Grupo aeróbico continuo; GAI, Grupo aeróbico en intervalos; GC, Grupo control; T1, evaluación de intervención de 16 semanas; T2, evaluación de seguimiento de 24 semanas; FC, frecuencia cardíaca; VE, ventilación, P_{ETCO_2} , presión espiratoria de dióxido de carbono; P_{ETO_2} , presión espiratoria de oxígeno.

Cada punto indica una persona.

Los símbolos grises indican Escenario B; negros indican Escenario C.

CAPITULO V- DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la efectividad (capacidad de una intervención de producir el efecto deseado en condiciones reales) de una intervención de 16 semanas de un programa semi-supervisado de entrenamiento en intervalos de vigorosa intensidad (EAI) junto con asesoramiento para un estilo de vida saludable, sobre la respuesta fisiológica al esfuerzo progresivo y máximo en personas adultas poco activas y que presentaban uno o más factores de riesgo cardiometabólico. La intervención fue implementada en un entorno real (centros sanitarios y deportivos) y se compararon los efectos del programa de ejercicio semi-supervisado EAI con dos grupos concomitantes; uno que participó en un programa de ejercicio semi-supervisado de entrenamiento continuo de baja-moderada intensidad más asesoramiento sobre estilo de vida (EAC) y otro que solamente recibió asesoramiento sobre estilo de vida saludable (GC).

La CRF y la adaptación al esfuerzo incremental, fueron valoradas a partir de pERG que se realizaron al inicio, al finalizar las 16 semanas de los programas de ejercicio físico semi-supervisado y asesoramiento, y a las 24 semanas de su finalización. La efectividad del EAI fue determinada en términos de los valores máximos/picos alcanzados (VO_{2PICO}), de parámetros independientes del esfuerzo máximo (VE/VCO_2 slope y OUES) y, de indicadores de la coordinación cardiorrespiratoria durante el esfuerzo mediante la extracción de los componentes principales de las variables registradas en las pERG.

La intervención se desarrolló satisfactoriamente y se registró una buena adherencia a las sesiones de ejercicio físico y de asesoramiento, sin diferencia entre grupos de estudio, lo que indica una buena aceptación del EAI por parte de las personas que participaron. Asimismo, en el transcurso de la intervención los participantes no indicaron molestias, ni incidencias destacables, en contra de lo que se podría esperar debido a la intensidad del esfuerzo y a la baja condición física inicial de los participantes del estudio. A pesar de las reticencias expresadas por distintos científicos (Biddle & Batterham, 2015) no es infrecuente

que se implementen programas de EAI en el ámbito de la prescripción del ejercicio físico en personas con riesgo metabólico (Guio de Prada, Ortega, Ramirez-Jimenez, et al., 2019; Mora-Rodriguez et al., 2016; Morales-Palomo et al., 2019; Stensvold et al., 2010; Arnt Erik Tjønna et al., 2008a). Sin embargo, se debe ser prudente y, como en el caso de este estudio, las personas deben ser asesoradas y guiadas por profesionales del ámbito deportivo.

En relación con el riesgo metabólico todos los grupos de estudio presentaron reducciones modestas/pequeñas comparables en las puntuaciones de riesgo de síndrome metabólico (MetSSS) que persistieron a medio plazo (seguimiento de 24 semanas). Estos resultados coinciden con los descritos por Tjønna et al., (2008) que registraron mejoras en los factores del riesgo del síndrome metabólico tras programas de entrenamiento continuo e interválico supervisados. Distintos estudios, han descrito que el EAI es más eficaz que EAC o el asesoramiento para inducir mejoras en parámetros como el perfil lipídico (Reljic et al., 2018), la circunferencia de cintura (Reljic et al., 2018), el porcentaje de grasa corporal y el IMC (Tjønna et al., 2009), la sensibilidad a la insulina (Boutcher, 2011) o la reducción de la PAS (Leal et al., 2020). Sin embargo, los resultados de la presente tesis no revelan esta superioridad del EAI sobre el resto de los grupos de estudio.

Como se ha comentado con mayor detalle en (Espigares-Tribo & Ensenyat, 2021) al tratarse de un programa de ejercicio semi-supervisado, era importante que las personas participantes cumplieran también las recomendaciones/indicaciones para las sesiones autoadministradas. Así, es posible que globalmente la dosis (intensidad / volúmenes / frecuencia) de ejercicio físico no haya sido suficiente para producir efecto sobre el riesgo cardiometabólico diferente entre los grupos que recibieron los programas de ejercicio físico semi-supervisado, o en comparación al grupo control.

Respecto al estilo de vida, todos los grupos de estudio presentaron cambios positivos en el estilo de vida (actividad física, hábitos dietéticos) que persistieron a medio plazo (seguimiento de 24 semanas). El efecto de la intervención se centra en un aumento del número de pasos diarios y los minutos de MVPA, una reducción del tiempo en conductas sedentarias y, una mejora de los hábitos de alimentación. Existen muchos estudios que

respaldan la importancia de la reducción de los niveles de conductas sedentarias (Owen et al., 2010), y de la valoración objetiva de los niveles de actividad física en la Atención Primaria (Freene et al., 2020; Murray et al., 2017). Los resultados de este estudio indican que un programa de asesoramiento, asociado o no a un programa de ejercicio físico, puede ser útil para ayudar a las personas con riesgo metabólico a evolucionar hacia un estilo de vida más saludable.

La finalidad principal de la presente tesis doctoral es evaluar los efectos de la intervención, basada en ejercicio físico semi-supervisado junto con asesoramiento para un estilo de vida saludable, en la capacidad cardiorrespiratoria (CRF) y la adaptación al esfuerzo físico progresivo y máximo. La CRF y la adaptación al esfuerzo incremental fueron valoradas mediante pERG realizadas en cicloergómetro. Los datos registrados durante las pERG permitieron evaluar los valores máximos/picos alcanzados (W_{PICO} , VO_{2PICO} , VCO_{2PICO} , VE_{PICO} , FC_{PICO} , índice de cronotropía, RER_{PICO} , PAS_{PICO} , PAD_{PICO} y PAM_{PICO}) que evidencian los límites de la máxima capacidad de adaptación los sistemas del cuerpo humano. Por otro lado, los valores registrados en intensidad inferiores a la máxima alcanzada, o los datos de la coevolución de distintas variables permitieron analizar la evolución de la adaptación fisiológica a lo largo de la prueba.

Todos los programas de la intervención indujeron cambios significativos en las variables de CRF. La intervención tuvo un efecto positivo sobre la capacidad de esfuerzo (W_{PICO} , cronotropía), el VO_{2PICO} y la respuesta de la presión arterial al esfuerzo. El efecto persistió en el tiempo.

En general, los efectos del programa de EAI sobre la adaptación fisiológica al esfuerzo y la CRF no difirieron sustancialmente de los del programa EAC o los del programa de asesoramiento sin ejercicio semi-supervisado (GC). Sin embargo, el número de participantes que aumentaron su VO_{2PICO} fue ligeramente mayor después del programa EAI que en los demás programas de la intervención. Aunque los resultados observados no son como se esperaba, este último dato apoyaría la hipótesis de que un programa semi-supervisado de EAI puede ser más eficaz que uno de EAC. Los resultados de distintos metaanálisis han

mostrado que el HIIT produce mayores efectos en comparación con el entrenamiento continuo de moderada intensidad (Milanović et al., 2015; Pattyn et al., 2014). Asimismo, estudios recientes también han demostrado que el entrenamiento tipo HIIT es eficaz para producir mejoras, que van de modestas a moderadas, en el $VO_{2MAX/PICO}$ después de períodos de 4 semanas (12 sesiones) a 16 semanas (48 sesiones) (Blackwell et al., 2017; Morales-Palomo et al., 2019; Reljic et al., 2018; Yue et al., 2022). Estos estudios observan aumentos en el VO_{2pico} de un 9% (Guio de Prada, Ortega, Ramirez-Jimenez, et al., 2019), 10-14% (Morales-Palomo et al., 2019), 10-20% (Blackwell et al., 2017) o 20-27% (Reljic et al., 2018). Estos valores son superiores a los obtenidos en los programas de entrenamiento evaluados en esta tesis (+4,7% en el escenario A). Sin embargo, la mayoría de los estudios citados fueron principalmente supervisados.

El presente estudio se diferencia de los demás por su carácter semi-supervisado en el que se ofrecieron 16 sesiones supervisadas, más 32 sesiones autoadministradas. Otra característica del programa era la irregularidad de la frecuencia semanal de las sesiones supervisadas; siendo éstas más frecuentes al inicio y menos frecuentes al final de la intervención. El mes anterior a la pERG final los participantes al estudio solamente recibieron 3 sesiones supervisadas; siendo el resto de las sesiones ($n = 9$) autoadministradas. Los datos obtenidos son consistentes con Blackwell et al., (2017) quienes, tras una intervención de 4 semanas, observaron un cambio menor del VO_{2PICO} en el grupo que realizó el programa de ejercicio físico de forma autoadministrada en su casa ($\approx 10\%$) que en el que realizó ejercicio físico supervisado ($\approx 20\%$).

Además, la mayoría de estos estudios, buscan analizar la eficacia (capacidad de una intervención de producir el efecto deseado en condiciones ideales) de las intervenciones e incluyen solamente a las personas que completaron al menos el 85% de las sesiones de entrenamiento. Por ello, no se puede descartar que los elevados valores en la mejora del VO_{2PICO} se deban a la exclusión del análisis de las personas con una baja adherencia a los programas de entrenamiento.

Es relevante destacar que, en el presente estudio, la magnitud de los cambios en el VO_{2PICO} difería según si, al inicio del estudio, la adaptación fisiológica a la prueba de esfuerzo progresiva y máxima fue satisfactoria o no; así se observó que la intervención fue más efectiva para las personas con peor adaptación fisiológica a la pERG (escenarios B y C) independientemente del grupo de estudio al que pertenecían.

Aunque la intensidad del ejercicio parece ser un factor crítico para mejorar la CRF, el nivel de CRF de inicial determina la intensidad de ejercicio necesaria para generar aumentos clínicamente significativos (Ross et al., 2015). Las personas con una condición física baja (CRF <10 equivalentes metabólicos (MET)) necesitarán una intensidad de entrenamiento del 50 % de la frecuencia cardíaca de reserva (HRR) o de la reserva de VO_2 (VO_{2R}), mientras que una persona con una condición física elevada (CRF >14 MET) necesitará una intensidad mayor (>85% HRR o VO_{2R}) (Ross et al., 2015). Esto podría explicar por qué los participantes que al inicio alcanzaron los criterios para el esfuerzo máximo (escenario A) no mejoraron su VO_{2PICO} . En estas personas, la carga global del programa de ejercicio semi-supervisado puede haber sido demasiado baja para inducir grandes cambios en el VO_{2PICO} en cualquier grupo de estudio.

Por el contrario, para los participantes que presentaron una mala adaptación a la pERG inicial, es posible que la carga de entrenamiento, o incluso, el cambio de estilo de vida, fueran suficientes para inducir una mejor respuesta fisiológica al esfuerzo. Por ello, en los participantes incluidos en los escenarios B y C, se registraron grandes mejoras (28-36%) en el VO_{2PICO} en todos los grupos de estudio, que además persistieron a las 24 semanas de seguimiento. Esto es consistente con las aportaciones de Ross et al., (2015) y con los hallazgos descritos por Milanović et al., (2015) en el metaanálisis en el que destaca que los participantes con una CRF inicial más baja (tanto para los grupos que realizaban ejercicio físico tipo HIIT, como los grupos que realizaban ejercicio de baja intensidad) mostraban una mayor mejora de su VO_{2MAX} .

Puesto que tener una baja condición física/cardiorrespiratoria (VO_{2PICO}) es un importante factor independiente de predicción de mortalidad prematura (D. Lee et al., 2010)

que también se ha asociado con un mayor riesgo de síndrome metabólico (J. Lee, 2020). Por ello, incluso pequeñas mejoras en la CRF, como las descritas en este estudio, pueden tener efectos positivos en la salud.

La PA fue el principal motivo por lo cual los participantes fueron impedidos de concluir la pERG con criterio de esfuerzo máximo al inicio del programa según los umbrales establecidos por las directrices más importantes (Albouaini et al., 2007; Balady et al., 2010; Fletcher et al., 2013). El programa de intervención provocó un efecto positivo sobre la capacidad de esfuerzo (aumentó la carga de trabajo) y la respuesta de la presión arterial (disminución de los valores de PAS, PAD y PAM), de todos los participantes. Ese positivo resultado puede estar atribuido a una disminución de la resistencia periférica (Fox, 2016; Levy et al., 2009).

Los resultados del presente estudio se asemeja a los informados por Sabbahi et al., (2018), en informe de referencia de la Fitness Registry and the Importance of Exercise: A National Database, donde analizaron un total de 2917 pruebas de esfuerzo máximas ($\text{RER}_{\text{PICO}} \geq 1,00$). Además, los valores máximos de la PAS de los participantes del programa se encuentran dentro de los límites inferiores y superiores de menor riesgo de enfermedad y mortalidad cardiovascular según Hedman et al., (2022).

En términos generales el presente autor considera que la intervención proporcionó mejora de la salud cardiovascular de los participantes, siendo que aquellas personas que no alcanzaron criterio de esfuerzo máximo al inicio (escenario B) o posterior a las 16 semanas de intervención (escenario C), podrían ser los más beneficiados por la reducción de los valores de PA.

La mayoría de las actividades de la vida diaria no requieren un esfuerzo máximo; así, se ha propuesto que indicadores de capacidad de ejercicio submáxima pueden ser de interés desde el punto de vista de la salud (Balady et al. 2010).

Con el fin de evaluar la respuesta y la adaptación al esfuerzo de los participantes de este estudio más allá de los valores máximos alcanzados, en las pERG realizadas en los diferentes momentos del programa, también se analizaron distintos parámetros/indicadores

que son relativamente independientes del esfuerzo máximo. Los indicadores analizados fueron; el umbral ventilatorio (VT_1) y el punto de compensación respiratoria (RCP), el índice de eficiencia ventilatoria (pendiente de ventilación frente a la producción de dióxido de carbono (pendiente $VE-VCO_2$)), y la pendiente de eficiencia de captación de oxígeno (OUES) (Baba et al., 1996). Todos los programas de intervención indujeron aumentos no persistentes significativos y comparables en VO_{2VT} , sin cambios en la pendiente VE/VCO_2 y mejoras persistentes en la OUES.

Los umbrales ventilatorios (VT_1 y RCP) son índices ampliamente utilizados como indicadores de la capacidad de ejercicio físico a intensidades submáximas y como delimitadores de zonas metabólicas de entrenamiento.

Parece que los programas de intervención de este estudio tienden a aumentar y a desplazar el RCP hacia cargas de trabajo/ VO_2 más elevadas, pero los resultados no son concluyentes. Los cambios son más notables para el escenario B que el A i el C (muy heterogéneos) sin diferencias entre grupos de estudio. En el ámbito del ejercicio físico y la salud, varios estudios han observado un desplazamiento del primer umbral ventilatorio (VT_1) hacia niveles de carga de trabajo y de VO_2 superiores. Este efecto se ha descrito en personas sedentarias (Blackwell et al., 2017), en personas con síndrome metabólico (Guio de Prada et al., 2019) y en pacientes con insuficiencia cardíaca crónica (Kemps et al., 2010). Parece que existen pocos estudios que analicen los cambios del segundo umbral ventilatorio o RCP en respuesta a programas de ejercicio físico en personas sedentarias o en personas con enfermedades crónicas. Guio de Prada et al., (2019), registraron un aumento del VT_1 y del RCP después de un programa de HIIT en 76 personas sedentarias con obesidad.

La pendiente VE/VCO_2 refleja la ventilación para una determinada producción de VCO_2 (Akkerman et al., 2010) y se ha considerado como un indicador de CRF y un predictor de mortalidad. Un valor elevado de la pendiente VE/VCO_2 se ha asociado a una mayor morbilidad y mortalidad según Akkerman et al., (2010) y Malhorta et al., (2016). En este estudio, ninguno de los tres programas de la intervención tuvo un impacto en la pendiente VE/VCO_2 . Los datos concuerdan con otros estudios que tampoco observaron cambios en la pendiente VE/VCO_2

después de un programa de entrenamiento físico en pacientes con insuficiencia cardíaca crónica (Kemps et al., 2010), enfermedad arterial coronaria (Pattyn et al., 2014) o tras el reemplazo de la válvula aórtica (Nilsson et al., 2019) aunque en estos estudios la CRF (VO_{2PICO}) de los pacientes mejoró. Sin embargo, los resultados contrastan con los de otros autores que registraron disminuciones de la pendiente VE/VCO_2 en personas que mostraban valores altos de la pendiente (> 35) al inicio del estudio (Gademan et al., 2008; Van Laethem et al., 2007). En la presente tesis, los participantes con valores de pendiente VE/VCO_2 superiores a 30 en el momento inicial tendieron a mejorar su pendiente VE/VCO_2 después de la intervención. Por ello, parece que en participantes con valores de pendiente dentro del rango de la normalidad (20 a 30) los cambios inducidos por el ejercicio físico podrían ser menores o incluso inexistentes. La ausencia de cambios en la pendiente VE/VCO_2 podría atribuirse a una carga de entrenamiento demasiado baja para inducir cambios o, alternativamente, podría deberse a que la pendiente VE/VCO_2 no es lo suficientemente sensible a los efectos del entrenamiento físico en personas sedentarias con valores de pendiente inferiores a 30. Aun así, Anaya et al., (2009) observaron que, en mujeres postmenopáusicas, con pendientes VE/CO_2 iniciales de 32.55, los cambios en la pendiente VE/VCO_2 se relacionaban con la dosis de ejercicio físico.

Si bien se ha afirmado que la pendiente VE/VCO_2 es un indicador de la CRF (Myers et al., 2009), en este estudio la pendiente VE/VCO_2 no se asoció con los cambios en la CRF (VO_{2PICO}). Esto coincide con otros autores como Keller-Ross et al. (2018), que tampoco encontraron una asociación entre el VO_{2PICO} y la pendiente VE/VCO_2 en mujeres delgadas o con sobrepeso. Según ellos, la pendiente VE/VCO_2 no parece ser un indicador apropiado para discriminar el nivel de condición física/aptitud cardiorrespiratoria en mujeres sanas (Keller-Ross et al., 2018). Los mismos autores sugieren que la masa muscular puede desempeñar un papel en la determinación de la pendiente VE/VCO_2 , fue observado que una mayor masa muscular en las piernas se asoció con una menor pendiente VE/VCO_2 en mujeres con sobrepeso (Keller-Ross et al., 2018).

En la presente tesis para el cálculo de la pendiente VE/VCO_2 se utilizaron todos los datos de las pERG de cada participante realizadas en los distintos momentos del programa. Sin embargo existen ciertas controversias metodológicas sobre si la pendiente debe calcularse con todos los datos de la prueba o con datos parciales de la prueba (Phillips et al., 2020). La limitación de utilizar todos los datos es que los participantes bien motivados pueden esforzarse muy por encima del punto de compensación respiratoria y, por lo tanto, alcanzar valores de VE/VCO_2 muy altos, sin tener, necesariamente, algún desequilibrio de la relación ventilación-perfusión, ni ningún otro trastorno de la sensibilidad de los quimiorreceptores/ergorreceptores. En contraposición, otros autores como Arena et al., (2003) demostraron que el uso de todos los datos de la prueba tenía un mayor valor pronóstico que el uso de datos parciales hasta el punto compensación respiratoria.

Según Balady et al. (2010) la pendiente de eficiencia de la captación de oxígeno (OUES) se considera una medida integrada que refleja la coordinación de los sistemas pulmonar y cardiovascular y, de la extracción de O_2 durante el ejercicio. Se ha planteado que la OUES puede ser más sensible al cambio de la coordinación entre sistemas que la pendiente VE/VCO_2 . Los datos de este estudio muestran que todos los programas de intervención indujeron una mejora significativa del OUES, similar en los tres grupos de estudio. Al contrario de lo que se esperaba, el EAI no fue más eficaz que el EAC o que el programa de asesoramiento sobre estilo de vida saludable sin ejercicio físico semi-supervisado. Los datos son consistentes con otros estudios que han reportado mejoras similares del OUES en mujeres y hombres con riesgo cardiometabólico después de un programa de HIIT (Guio de Prada et al., 2019), después de intervenciones de entrenamiento de ejercicio en pacientes con insuficiencia cardíaca crónica (Gademan et al., 2008; Kemps et al., 2010; Van Laethem et al., 2007) o tras el reemplazo de la válvula aórtica (Nilsson et al., 2019).

Sin embargo, en otros estudios, como el de Mouro et al., (2004) en el que las participantes eran mujeres jóvenes sanas y físicamente activas, no se registraron efectos en la OUES, ni en la pendiente VE/VCO_2 después de 3 semanas (18 sesiones) de EAI, y a pesar

de que el VO_{2PICO} y el VO_{2VT} aumentaron significativamente. En este estudio la variabilidad de las respuestas de la OUES fue mayor que las del VO_{2PICO} o el VO_{2VT} .

Un aumento de la OUES sugiere que para un mismo valor del VO_2 o superior, se requiere una ventilación menor. Esto podría deberse a las mejoras en las funciones pulmonares (adecuación perfusión/ventilación), cardiocirculatorias (demanda de oxígeno del miocardio) y la extracción y utilización muscular del VO_2 o una combinación de todas ellas inducidas por el ejercicio físico regular o entrenamiento. Los cambios de la OUES pueden representar una mejora en la eficiencia u coordinación de los sistemas durante la adaptación al esfuerzo, por ello es posible que se puedan observar cambios en la OUES a pesar de que no se modifiquen los valores máximos tradicionalmente evaluados en las pERG.

Como se ha indicado para la pendiente VE/VCO_2 , también para el cálculo de la OUES, para cada participante y momento, se utilizaron los datos de toda la pERG. En un análisis preliminar durante el proceso de valoración de los resultados de este estudio se compararon los datos de la pendiente VE/VO_2 y de la OUES obtenidos utilizando toda la prueba con los valores obtenidos utilizando la porción de la prueba comprendida entre su inicio y la intensidad correspondiente al RCP (resultados no presentados). Como no hubo diferencias entre las dos estrategias de análisis, se ha optado por presentar los resultados de la OUES de utilizando todos los datos de la pERG. Pichon & Antoine-Jonville (2010) también indicaron que en general no observaron diferencias en la OUES entre el uso de todos los datos, o del 90%, 85%, 80% o 75% de la duración de la pERG. Parece que la OUES no se ve afectada según si se utilizan los datos de toda la prueba o, solamente una porción de esta. Este aspecto puede ser interesante a considerar ya que no es necesario alcanzar criterios de maximalidad en las pruebas de esfuerzo para tener un indicador de la coordinación de los sistemas pulmonar y cardiovascular y, de la extracción de O_2 durante el ejercicio.

Estudios recientes también han reivindicado la necesidad de valorar aspectos más cualitativos de la adaptación fisiológica al esfuerzo. Una propuesta es analizar la evolución y la coevolución de las variables, registradas durante las pERG mediante el análisis de los componentes principales. En este estudio se ha aplicado por primera vez el análisis de PCA

en pERG en personas poco activas y con factores de riesgo cardiometabólico. Asimismo, también es la primera vez que este tipo de análisis se realiza para valorar los resultados (comprobar la efectividad) de una intervención implementada en condiciones reales.

Los resultados del estudio muestran que los tres programas de la intervención tuvieron una influencia positiva sobre la CRC que se refleja en una disminución del número de componentes principales al finalizar la intervención y aumentando el número de personas en las que un solo CP puede explicar la adaptación fisiológica al esfuerzo.

Se ha relacionado el número de componentes principales con el grado de coordinación y coevolución de las variables incluidas en el análisis ((Balagué et al., 2016; Garcia-Retortillo, Javierre, et al., 2019). Así, un número menor de componentes principales se ha relacionado con una mayor coordinación cardiorrespiratoria durante la pERG. En este estudio una proporción importante (88,7%) de las personas participantes mostraron 2 CPs al inicio del estudio. Después de la intervención este porcentaje se redujo al 59%; lo cual sugiere que los programas de la intervención ayudaron a la mejora de la CRC.

Los resultados evidencian que en los participantes del escenario A, es decir los que alcanzaron los criterios de maximalidad en la pERG al inicio del estudio, el grupo que participó en el programa de EAI semi-supervisado es el que muestra una mayor mejora de la CRC en comparación a los demás grupos de estudio. Por otro lado, como ya sugirió Ross et al., (2015) con relación a los cambios del VO_{2PICO} , parece que el nivel de condición física inicial también condiciona las posibilidades de mejora de la CRC, puesto que entre los participantes del escenario C se registró un número mayor de personas que mejoraron la CRC, en términos de reducción del número de CPs, en comparación a los demás escenarios. Los resultados concuerdan en parte con los obtenidos en estudios que han valorado la CRC en personas activas en las que se ha observado una reducción del número de CPs después de periodos de entrenamiento (Balagué et al., 2016; Garcia-Retortillo et al., 2019) o de una estancia de entrenamiento en altitud (Gultyaeva et al., 2021), y un aumento del número de CPs asociado a fatiga aguda inducida (Garcia-Retortillo et al., 2017).

Aparte de la reducción del número de CPs para explicar la CRC durante la pERG, la magnitud del autovalor del CP₁ también puede ser un indicador de los cambios de la CRC. Como se podría anticipar, cuando disminuye el número de CPs, aumenta el autovalor para el CP₁, y, por tanto, también el porcentaje de la variancia explicada por el CP₁. En concordancia con lo que se ha mencionado en relación con la reducción del número de CPs, entre los participantes del escenario A, las personas que recibieron el programa de EAI semi-supervisado también aumentaron el autovalor para el CP₁, mientras que este no se modificó significativamente en el resto de los grupos de estudio. Asimismo, todos los participantes incluidos en escenario C, independientemente del grupo de estudio al que pertenecían, presentaron un aumento del autovalor del CP₁ en comparación a los demás escenarios.

El aumento del autovalor para el CP₁ viene a confirmar la mejora de la coordinación y covariación de las variables incluidas en el análisis. Cuanto mayor sea el autovalor del CP₁, mayor es la varianza explicada por este componente y mejor la coordinación entre las variables incluidas en el componente. Resultados similares fueron descritos por (Balagué et al., 2016; Garcia-Retortillo et al., 2017; Garcia-Retortillo, Javierre, et al., 2019; Oviedo et al., 2021; Papadakis et al., 2022) en población joven deportista y también en la intervención de Gulyaeva et al., (2021) en altitud, con jóvenes. También en el estudio de Garcia-Retortillo, Gacto, et al., (2019), donde en intensidades más elevadas los participantes que entrenaban HIIT presentaron aumento del autovalor del CP₁.

El EAI provocó mayor aumento del autovalor a lo largo de la intervención, sin embargo, se debe considerar que al inicio de la intervención éste era el grupo que mostraba valores más bajos. Asimismo, un aspecto a considerar es el hecho que al inicio de la intervención todos los participantes del escenario A que recibieron el EAI semi-supervisado mostraban 2 CPs en la pERG y un número considerable de ellos redujo el número de CPs, y por ello, también aumentó el autovalor del CP₁, al finalizar la intervención. Sin embargo, en términos de VO_{2PICO} los cambios en ese grupo de estudio fueron discretos. Este efecto podría avalar la hipótesis de que los cambios coordinativos reflejados en la CRC preceden a los cambios

cuantitativos de las variables tradicionalmente estudiadas en las pERG, tal como han propuesto por Balagué et al., (2016; 2020) y Garcia-Retortillo et al., (2017; 2019).

Otro punto importante que se ha considerado en los resultados del PCA de la presente tesis doctoral, es la carga de las variables analizadas en el CP1 y el CP2. Ese valor de las variables originales permite observar su carga/importancia y colinealidad con los componentes.

Fue posible observar inicialmente que el primer CP representa mejor las variables como FC y VE, mientras que el segundo CP la $P_{ET}CO_2$. Este patrón también ha sido descrito por Balagué et al., (2016). No obstante, la carga del $P_{ET}CO_2$ de esta tesis no presentaba valores muy elevados. Autores como Figueiredo et al., (2019) en un estudio para identificar las características físicas en deportes colectivos, consideraron solamente la carga de las variables analizadas que contribuían con valores iguales o por encima de 0,70, así como Moreira et al., (2009) en un estudio sobre el desarrollo físico/motor en el baloncesto.

A lo largo de la intervención fue posible observar que el patrón inicial de las variables analizadas se mantuvo. La variable de mayor carga en CP₂, no pasó a representar una alta carga para el CP₁, tal y cómo indica otros (Balagué et al., 2016).

Para finalizar es importante destacar que los resultados de la CRC deben ser analizados teniendo en cuenta algunas limitaciones metodológicas. El análisis tenía una tasa de registro de las variables analizadas a respiración a respiración durante la realización de la pERG tal y cómo otros estudios (Balagué et al., 2016; Garcia-Retortillo et al., 2017). Mientras tanto, la PA fue registrada a cada 2 minutos, y por ese motivo no ha sido incluida en los análisis del PCA, mismo motivo presentado por otro estudio de Esquius et al., (2019).

La naturaleza semi-supervisada del programa de ejercicio físico podría considerarse una limitación. En este estudio, los participantes fueron estrechamente supervisados por un profesional de la actividad física al comienzo del programa, pero en el transcurso de las 16 semanas de la intervención se redujeron las sesiones supervisadas y los participantes debían realizar el ejercicio físico de forma autoadministrada. Esto puede explicar la falta de mayores efectos del programa de ejercicio físico de EAI sobre la condición física

cardiorrespiratoria (VO_{2PICO} , VO_{2RCP} , pendiente VE/VCO_2 , OUES) en comparación con el grupo de EAC o en comparación a los resultados obtenidos en otros estudios. Una limitación importante es que durante la intervención no se hizo un seguimiento adecuado (suficientemente riguroso) de los participantes durante las sesiones autoadministradas. El no cumplimiento de la carga de trabajo físico esperada da lugar a estímulos de entrenamiento más bajos y, por lo tanto, menores adaptaciones. Aunque la finalidad es conseguir empoderar las personas para que realicen ejercicio físico de forma autoadministrada, a partir de la experiencia obtenida en este estudio, en personas adultas no habituadas a la práctica regular de ejercicio físico se aconseja aumentar el número de sesiones de ejercicio físico supervisadas y fortalecer el seguimiento de las sesiones autoadministradas con estrategias, como el uso de plataformas de comunicación basadas en internet.

Una de las principales fortalezas de este estudio fue que la intervención de 16 semanas combinó el programa de entrenamiento de ejercicio físico semi-supervisado con un programa de asesoramiento sobre el estilo de vida saludable para promover el cambio de comportamiento. Este estudio es único ya que, a diferencia de otros estudios de EAI, no solo considera el ejercicio físico, sino que también lo vincula a estrategias que promueven el cambio de comportamiento y el empoderamiento, y evalúa la persistencia a medio plazo de los efectos. La mayoría de las intervenciones de EAI se han realizado en un entorno experimental altamente controlado durante un período de tiempo limitado y solo informan de los efectos inmediatos de las intervenciones. En el estudio actual, diversos cambios beneficiosos (riesgo metabólico global, estilo de vida y CRF, CRC), (VO_{2PICO} , OUES), en particular en las personas con niveles de condición física más bajos, persistieron a las 24 semanas de seguimiento.

CAPITULO VI- CONCLUSIONES

La presente tesis demuestra, que una intervención de 16 semanas de EAI semi-supervisado junto con asesoramiento para un estilo de vida saludable.

1. podría ser una estrategia factible para ser incluida en programas de ejercicios físicos dirigido a personas sedentarias con factores de riesgo cardiometabólico.

Los participantes indicaron una buena aceptación del EAI, no indicaron molestias, ni incidencias destacables.

2. presenta efectos similares a los de los programas de EAC semi-supervisado y de asesoramiento sin ejercicio físico:

-Reduciendo el Índice MetSSS, asociado a cambios en la PAS, PAD, PAM y la CC.

- Aumentando la carga de trabajo W_{PICO} ; el VO_{2PICO} ; y reduciendo la PA en esfuerzo.

3. muestra efectos beneficiosos de pequeña magnitud, pero persistentes en las puntuaciones de riesgo del síndrome metabólico y el estilo de vida (MVPA, SB y hábitos dietéticos);

4. es igualmente de efectivo que los programas EAC o de asesoramiento para aumentar el VO_{2PICO} en personas con una condición física baja, aunque el número de personas que responden fue mayor en los grupos de estudio de EAI que en el de EAC o únicamente asesoramiento;

5. es tan eficaz como EAC o únicamente asesoramiento para mejorar las variables independientes del esfuerzo, como VO_{2RCP} y OUES;

6. obtuvo una influencia positiva sobre la CRC que se refleja en una disminución del número de componentes principales al finalizar la intervención; y

7. puede que presente una mayor mejora de la CRC en comparación a los demás grupos de estudio para aquellos que realizaron un esfuerzo con criterio máximo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akkerman, M., van Brussel, M., Hulzebos, E., Vanhees, L., Helders, P. J. M., & Takken, T. (2010). The Oxygen Uptake Efficiency Slope. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 30(6), 357–373. <https://doi.org/10.1097/HCR.0b013e3181ebf316>
- Alberti, K., Eckel, R. H., Grundy, S. M., Zimmet, P. Z., Cleeman, J. I., Donato, K. A., Fruchart, J.-C. C., James, W. P. T., Loria, C. M., & Smith, S. C. J. (2009). Harmonizing the metabolic syndrome: A joint interim statement of the international diabetes federation task force on epidemiology and prevention; National heart, lung, and blood institute; American heart association; World heart federation; International. *Circulation*, 120(16), 1640–1645. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644>
- Albouaini, K., Egred, M., Alahmar, A., & Wright, D. J. (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgraduate Medical Journal*, 83(985), 675–682. <https://doi.org/10.1136/hrt.2007.121558>
- Allison, D. T., & Burdiat, G. (2010). Pruebas de esfuerzo cardiopulmonar en la práctica clínica. *Pruebas De Esfuerzo Cardiopulmonar En La Practica Clínica*, 11, 17–27.
- Anaya, S. A., Church, T. S., Blair, S. N., Myers, J. N., & Earnest, C. P. (2009). Exercise dose-response of the $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ slope in postmenopausal women in the DREW study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(5), 971–976. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181930009>
- Arena, R., Myers, J., Aslam, S. S., Varughese, E. B., & Peberdy, M. A. (2003). Technical considerations related to the minute ventilation/carbon dioxide output slope in patients with heart failure. *Chest*, 124(2), 720–727. <https://doi.org/10.1378/chest.124.2.720>
- Arena, R., Myers, J., Forman, D. E., Lavie, C. J., & Guazzi, M. (2013). Should high-intensity-aerobic interval training become the clinical standard in heart failure? *Heart Failure Reviews*, 18(1), 95–105. <https://doi.org/10.1007/s10741-012-9333-z>

- Ariza, A., Bosch, X., Campos, E., Vinyes, J., Violan, C., Visa, J., Miquel, C., & Pujol, R. (2015). *Guia de bona pràctica en la recerca en ciències de la Salut de l' ICS*. 34.
- Baba, R., Nagashima, M., Goto, M., Nagano, Y., Yokota, M., Tauchi, N., & Nishibata, K. (1996). Oxygen uptake efficiency slope: A new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relation between oxygen uptake and minute ventilation during incremental exercise. *Journal of the American College of Cardiology*, 28(6), 1567–1572. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(96\)00412-3](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(96)00412-3)
- Balady, G. J., Arena, R., Sietsema, K., Myers, J., Coke, L., Fletcher, G. F., Forman, D., Franklin, B., Guazzi, M., Gulati, M., Keteyian, S. J., Lavie, C. J., Macko, R., & Mancini, D. (2010). *Clinician ' s Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults A Scientific Statement From the American Heart Association*. 191–225. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181e52e69>
- Balagué, N., González, J., Javierre, C., Hristovski, R., Aragonés, D., Álamo, J., Niño, O., & Ventura, J. L. (2016). Cardiorespiratory coordination after training and detraining. a principal component analysis approach. *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00035>
- Balagué, N., Hristovski, R., Almarcha, M., Garcia-Retortillo, S., & Ivanov, P. C. (2020). Network Physiology of Exercise: Vision and Perspectives. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.611550>
- Bartlett, J. D., Close, G. L., MacLaren, D. P. M., Gregson, W., Drust, B., & Morton, J. P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: Implications for exercise adherence. *Journal of Sports Sciences*, 29(6), 547–553. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.545427>
- Basiotis, P., Carlson, A., Gerrior, S., Juan, W., & Lino, M. (2002). *The Healthy Eating Index 1999-2000*. Washington, DC: US Department of Agriculture, Center for Nutrition Policy and Promotion. <https://www.usda.gov>
- Batacan, R. B., Duncan, M. J., Dalbo, V. J., Tucker, P. S., & Fenning, A. S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-

- analysis of intervention studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 494–503. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095841>
- Beattie, J. R., & Esmonde-White, F. W. L. (2021). Exploration of Principal Component Analysis: Deriving Principal Component Analysis Visually Using Spectra. *Applied Spectroscopy*, 75(4), 361–375. <https://doi.org/10.1177/0003702820987847>
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 60(6), 2020–2027. <https://doi.org/10.1152/jappl.1986.60.6.2020>
- Biddle, S. J. H., & Batterham, A. M. (2015). High-intensity interval exercise training for public health: a big HIT or shall we HIT it on the head? *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s12966-015-0254-9>
- Blackwell, J., Atherton, P. J., Smith, K., Doleman, B., Williams, J. P., Lund, J. N., & Phillips, B. E. (2017). The efficacy of unsupervised home-based exercise regimens in comparison to supervised laboratory-based exercise training upon cardio-respiratory health facets. *Physiological Reports*, 5(17). <https://doi.org/10.14814/phy2.13390>
- Borg, E., & Kaijser, L. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(1), 57–69. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00448.x>
- Borg, G. C. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *US: Human Kinetics*.
- Boutcher, S. H. (2011). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of Obesity*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/868305>
- Boutron, I., Altman, D. G., Moher, D., Schulz, K. F., & Ravaud, P. (2017). CONSORT Statement for Randomized Trials of Nonpharmacologic Treatments: A 2017 Update and a CONSORT Extension for Nonpharmacologic Trial Abstracts. *Annals of Internal Medicine*, 167(1), 40. <https://doi.org/10.7326/M17-0046>
- Bro, R., & Smilde, A. K. (2014). Principal component analysis. *Anal. Methods*, 6(9), 2812–2831. <https://doi.org/10.1039/C3AY41907J>
- Brown, N., Bichler, S., Fiedler, M., & Alt, W. (2016). Fatigue detection in strength training using

- three-dimensional accelerometry and principal component analysis. *Sports Biomechanics*, 15(2), 139–150. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1159321>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle. *Sports Medicine*, 43(10), 927–954. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0066-5>
- Callahan, M. J., Parr, E. B., Hawley, J. A., & Camera, D. M. (2021). Can High-Intensity Interval Training Promote Skeletal Muscle Anabolism? *Sports Medicine*, 51(3), 405–421. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01397-3>
- Campbell, W., Kraus, W. E., Powell, K. E., Haskell, W. L., Janz, K. F., Jakicic, J. M., Troiano, R. P., Sprow, K., Torres, A., Piercy, K. L., & Bartlett, D. B. (2019). High-Intensity Interval Training for Cardiometabolic Disease Prevention. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(6), 1220–1226. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001934>
- Cassidy, S., Thoma, C., Houghton, D., & Trenell, M. I. (2017). High-intensity interval training: a review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. *Diabetologia*, 60(1), 7–23. <https://doi.org/10.1007/s00125-016-4106-1>
- Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2003). *Fisiología del ejercicio*. Médica Panamericana.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Coleman, C. J., McDonough, D. J., Pope, Z. C., & Pope, C. A. (2022). Dose–response association of aerobic and muscle-strengthening physical activity with mortality: a national cohort study of 416 420 US adults. *British Journal of Sports Medicine*, 56(21), 1218–1223. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105519>
- Cook, R. J., Dickens, B. M., & Fathalla, M. F. (2003). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. In *Reproductive Health and Human Rights* (Vol. 81, Issue 3, pp. 428–432). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199241323.003.0025>
- Denis, D. J. (2016). *Applied univariate, bivariate, and multivariate statistics*. Wiley.
- Dias, K. A., Ingul, C. B., Tjønnå, A. E., Keating, S. E., Gomersall, S. R., Follstad, T., Hosseini,

- M. S., Hollekim-Strand, S. M., Ro, T. B., Haram, M., Huuse, E. M., Davies, P. S. W., Cain, P. A., Leong, G. M., & Coombes, J. S. (2018). Effect of High-Intensity Interval Training on Fitness, Fat Mass and Cardiometabolic Biomarkers in Children with Obesity: A Randomised Controlled Trial. *Sports Medicine*, *48*(3). <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0777-0>
- Donoso Noroña, R. F. ., N.;, G. M., & A., R. P. (2022). Incidencia en las personas adultas del síndrome metabólico: prevalencia; diagnóstico y tratamiento. *Revista Universidad y Sociedad*, *14*, 630–637.
- Dunbar, C. C. & Saul, B. (2009). *ECG interpretation for the clinical exercise physiologist*. (Lippincott Williams & Wilkins (ed.)).
- Ekkekakis, P., Parfitt, G., & Petruzzello, S. J. (2011). The Pleasure and Displeasure People Feel When they Exercise at Different Intensities. *Sports Medicine*, *41*(8), 641–671. <https://doi.org/10.2165/11590680-000000000-00000>
- Ensenyat, A., Espigares-Tribo, G., Machado-Da-Silva, L., Sinfreu-Bergués, X., & Blanco, A. (2020). Semisupervised physical exercise and lifestyle counseling in cardiometabolic risk management in sedentary adults: Controlled randomized trial (BELLUGAT). *Journal of Physical Activity and Health*, *17*(7), 744–755. <https://doi.org/10.1123/jpah.2019-0409>
- Ensenyat, A., Espigares-Tribo, G., Machado-Da-Silva, L., Verdejo, F. J., Rodriguez-Arregui, R., Serrano, J., Miret, M., Galindo, G., Blanco, A., Marsal, J.-R., Sarriegui, S., Sinfreu-Bergues, X., & Serra-Paya, N. (2017). Metabolic risk management, physical exercise and lifestyle counselling in low-active adults: controlled randomized trial (BELLUGAT). *BMC Public Health*, *17*(1), 257. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4144-8>
- Espigares-Tribo, G., & Ensenyat, A. (2021). Assessing an educational booklet for promotion of healthy lifestyles in sedentary adults with cardiometabolic risk factors. *Patient Education and Counseling*, *104*(1), 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2020.06.012>
- Esquiús, L., García-Retortillo, S., Balagué, N., Hristovski, R., & Javierre, C. (2019). Physiological- and performance-related effects of acute olive oil supplementation at moderate exercise intensity. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *16*(1).

<https://doi.org/10.1186/s12970-019-0279-6>

- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Fernández-Bergés, D., Cabrera de León, A., Sanz, H., Elosua, R., Guembe, M. J., Alzamora, M., Vega-Alonso, T., Félix-Redondo, F. J., Ortiz-Marrón, H., Rigo, F., Lama, C., Gavrilá, D., Segura-Fragoso, A., Lozano, L., & Marrugat, J. (2012). Síndrome metabólico en España: prevalencia y riesgo coronario asociado a la definición armonizada y a la propuesta por la OMS. Estudio DARIOS. *Revista Española de Cardiología*, 65(3), 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.10.015>
- Figueiredo, D. H., Figueiredo, D. H., Gonçalves, H. R., Stanganelli, L. C. R., & Dourado, A. C. (2019). Análise de componentes principais na identificação de características primordiais em esportes coletivos. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 27(3), 41. <https://doi.org/10.31501/rbcm.v27i3.9881>
- Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., Coke, L. A., Fleg, J. L., Forman, D. E., Gerber, T. C., Gulati, M., Madan, K., Rhodes, J., Thompson, P. D., & Williams, M. A. (2013). Exercise Standards for Testing and Training. *Circulation*, 128(8), 873–934. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31829b5b44>
- Fox, S. (2016). *Fisiologia Humana* (14th ed.). McGraw-Hill-Interamericana.
- Freene, N., Davey, R., Sathiyakumar, R., & McPhail, S. M. (2020). Can physical activity measurement alone improve objectively-measured physical activity in primary care?: A systematic review and meta-analysis. *Preventive Medicine Reports*, 20, 101230. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2020.101230>
- Gademan, M. G. J., Swenne, C. A., Verwey, H. F., van de Vooren, H., Haest, J. C. W., van Exel, H. J., Lucas, C. M. H. B., Cleuren, G. V. J., Schali, J., & van der Wall, E. E. (2008). Exercise training increases oxygen uptake efficiency slope in chronic heart failure. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 15(2), 140–144. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e3282ef19986>

- Gallardo-Alfaro, L., Bibiloni, M. del M., Bouzas, C., Mascaró, C. M., Martínez-González, M. Á., Salas-Salvadó, J., Corella, D., Schröder, H., Martínez, J. A., Alonso-Gómez, Á. M., Wärnberg, J., Vioque, J., Romaguera, D., Lopez-Miranda, J., Estruch, R., Tinahones, F. J., Lapetra, J., Serra-Majem, L., Bueno-Cavanillas, A., ... Tur, J. A. (2021). Physical activity and metabolic syndrome severity among older adults at cardiovascular risk: 1-Year trends. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, *31*(10), 2870–2886. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.numecd.2021.06.015>
- Gami, A. S., Witt, B. J., Howard, D. E., Erwin, P. J., Gami, L. A., Somers, V. K., & Montori, V. M. (2007). Metabolic Syndrome and Risk of Incident Cardiovascular Events and Death. A Systematic Review and Meta-Analysis of Longitudinal Studies. *Journal of the American College of Cardiology*, *49*(4), 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2006.09.032>
- Garcia-Retortillo, S., Gacto, M., O’Leary, T. J., Noon, M., Hristovski, R., Balagué, N., & Morris, M. G. (2019). Cardiorespiratory coordination reveals training-specific physiological adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(8), 1701–1709. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04160-3>
- Garcia-Retortillo, S., Javierre, C., Hristovski, R., Ventura, J. L., & Balagué, N. (2017). Cardiorespiratory Coordination in Repeated Maximal Exercise. *Frontiers in Physiology*, *8*, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00387>
- Garcia-Retortillo, S., Javierre, C., Hristovski, R., Ventura, J. L., & Balagué, N. (2019). Principal component analysis as a novel approach for cardiorespiratory exercise testing evaluation. *Physiological Measurement*, *40*(8), 084002. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab2ca0>
- Gibbons, R. J., Balady, G. J., Bricker, J. T., Chaitman, B. R., Fletcher, G. F., Froelicher, V. F., & Mccallister, B. D. (2002). ACC / AHA PRACTICE GUIDELINES — FULL TEXT ACC / AHA 2002 Guideline Update for Exercise Testing A Report of the American College of Cardiology / American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing) COMMITTEE MEMBER.
- Glaab, T., & Taube, C. (2022). Practical guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. *Respiratory Research*, *23*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12931-021-01895-6>

- Gormley, S. E., Swain, D. P., High, R., Spina, R. J., Dowling, E. A., Kotipalli, U. S., & Gandrakota, R. (2008). Effect of Intensity of Aerobic Training on $\dot{V}O_2\text{max}$. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *40*(7), 1336–1343. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816c4839>
- Guio de Prada, V., Ortega, J. F., Morales-Palomo, F., Ramirez-Jimenez, M., Moreno-Cabañas, A., & Mora-Rodriguez, R. (2019). Women with metabolic syndrome show similar health benefits from high-intensity interval training than men. *PloS One*, *14*(12), e0225893. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225893>
- Guio de Prada, V., Ortega, J. F., Ramirez-Jimenez, M., Morales-Palomo, F., Pallares, J. G., & Mora-Rodriguez, R. (2019). Training intensity relative to ventilatory thresholds determines cardiorespiratory fitness improvements in sedentary adults with obesity. *European Journal of Sport Science*, *19*(4), 549–556. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1540659>
- Gulyaeva, V. V., Uryumtsev, D. Y., Zinchenko, M. I., Melnikov, V. N., Balioz, N. V., & Krivoschekov, S. G. (2021). Cardiorespiratory Coordination in Hypercapnic Test Before and After High-Altitude Expedition. *Frontiers in Physiology*, *12*, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.673570>
- Hassinen, M., Lakka, T. A., Hakola, L., Savonen, K., Komulainen, P., Litmanen, H., Kiviniemi, V., Kouki, R., Heikkilä, H., & Rauramaa, R. (2010). Cardiorespiratory Fitness and Metabolic Syndrome in Older Men and Women. *Diabetes Care*, *33*(7), 1655–1657. <https://doi.org/10.2337/dc10-0124>
- Hedman, K., Lindow, T., Cauwenberghs, N., Carlén, A., Elmberg, V., Brudin, L., & Ekström, M. (2022). Peak exercise SBP and future risk of cardiovascular disease and mortality. *Journal of Hypertension*, *40*(2), 300–309. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000003008>
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic High-Intensity Intervals Improve $\dot{V}O_2\text{max}$ More Than Moderate Training. *Medicine & Science in Sports &*

- Exercise*, 39(4), 665–671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24(6), 417–441. <https://doi.org/10.1037/h0071325>
- Jelleyman, C., Yates, T., O'Donovan, G., Gray, L. J., King, J. A., Khunti, K., & Davies, M. J. (2015). The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity Reviews*, 16(11), 942–961. <https://doi.org/10.1111/obr.12317>
- Jesus, I. R. T., Mello, R. G. T., & Nadal, J. (2016). Muscle Fatigue Assessment During Cycle Ergometer Exercise Using Principal Component Analysis of Electromyogram Power Spectra. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(6), 593–598. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0253>
- Jolliffe, I. (2002). *Principal Component Analysis* (Springer (ed.)).
- Jones, N. L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T., & McCartney, N. (1985). Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *The American Review of Respiratory Disease*, 131(5), 700–708. <https://doi.org/10.1164/arrd.1985.131.5.700>
- Jurca, R., Lamonte, M. J., Church, T. S., Earnest, C. P., Fitzgerald, S. J., Barlow, C. E., Jordan, A. N., Kampert, J. B., & Blair, S. N. (2004). Associations of Muscle Strength and Fitness with Metabolic Syndrome in Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(8), 1301–1307. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000135780.88930.A9>
- Kaminsky, Arena, R., Myers, J., Peterman, J. E., Bonikowske, A. R., Harber, M. P., Medina Inojosa, J. R., Lavie, C. J., & Squires, R. W. (2022a). Updated Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured with Cardiopulmonary Exercise Testing. *Mayo Clinic Proceedings*, 97(2), 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2021.08.020>
- Kaminsky, Harber, M., Imboden, M., Arena, R., & Myers, J. (2018). Peak Ventilation Reference Standards from Exercise Testing: From the FRIEND Registry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(12), 2603–2608. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001740>
- Kaminsky, L. A., Arena, R., Myers, J., Peterman, J. E., Bonikowske, A. R., Harber, M. P., Medina Inojosa, J. R., Lavie, C. J., & Squires, R. W. (2022b). Updated Reference

- Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured with Cardiopulmonary Exercise Testing. *Mayo Clinic Proceedings*, 97(2), 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2021.08.020>
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis et Biologiæ Fenniae*, 35(3), 307–315. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13470504>
- Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2017). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity Reviews*, 18(8), 943–964. <https://doi.org/10.1111/obr.12536>
- Keller-Ross, M. L., Chantigian, D. P., Evanoff, N., Bantle, A. E., Dengel, D. R., & Chow, L. S. (2018). VE/VCO₂ slope in lean and overweight women and its relationship to lean leg mass. *IJC Heart & Vasculature*, 21, 107–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2018.10.009>
- Kemps, H. M. C., De Vries, W. R., Schmikli, S. L., Zonderland, M. L., Hoogeveen, A. R., Thijssen, E. J. M., & Schep, G. (2010). Assessment of the effects of physical training in patients with chronic heart failure: The utility of effort-independent exercise variables. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 469–476. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1230-3>
- Kessler, H. S., Sisson, S. B., & Short, K. R. (2012). The Potential for High-Intensity Interval Training to Reduce Cardiometabolic Disease Risk. *Sports Medicine*, 42(6), 489–509. <https://doi.org/10.2165/11630910-000000000-00000>
- Korsager Larsen, M., & Matchkov, V. V. (2016). Hypertension and physical exercise: The role of oxidative stress. *Medicina*, 52(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.medici.2016.01.005>
- Laukkanen, J. A., & Kunutsor, S. K. (2022). There is still a role for exercise testing in prognostic cardiology. *International Journal of Cardiology*, 365, 32–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2022.07.047>
- Leal, J. M., Galliano, L. M., & Del Vecchio, F. B. (2020). Effectiveness of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training in Hypertensive Patients: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Hypertension Reports*, 22(3), 26.

<https://doi.org/10.1007/s11906-020-1030-z>

- Lee, D., Artero, E. G., Xuemei Sui, & Blair, S. N. (2010). Review: Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. *Journal of Psychopharmacology*, 24(4_suppl), 27–35. <https://doi.org/10.1177/1359786810382057>
- 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*, 34(7), 796–805. <https://doi.org/10.1177/0890117120925347>
- Levy, M. ., Berne, R. M., Koeppen, B. ., & Stanton, B. A. (2009). *Berne Y Levi Fisiología* (6th ed.). Elsevier.
- Little, J. P., Safdar, A., Bishop, D., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2011). An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 300(6), R1303–R1310. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00538.2010>
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2915–2930. <https://doi.org/10.1113/JP273196>
- Mahmoudi, M. R., Heydari, M. H., Qasem, S. N., Mosavi, A., & Band, S. S. (2021). Principal component analysis to study the relations between the spread rates of COVID-19 in high risks countries. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 457–464. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.09.013>
- Malhotra, R., Bakken, K., D'Elia, E., & Lewis, G. D. (2016). Cardiopulmonary Exercise Testing in Heart Failure. *JACC: Heart Failure*, 4(8), 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2016.03.022>
- Manonelles, P., Franco, L., & Naranjo, J. (2016). Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 33(1), 5–83.
- Milanović, Z., Sporiš, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A Systematic

- Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine*, 45(10), 1469–1481. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>
- Miller, W., & Rollnick, S. (2013). *Motivational Interviewing: Helping People Change* (3rd ed.). Guilford Press.
- Moholdt, T. T., Amundsen, B. H., Rustad, L. A., Wahba, A., Løvø, K. T., Gullikstad, L. R., Bye, A., Skogvoll, E., Wisløff, U., & Slørdahl, S. A. (2009). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise after coronary artery bypass surgery: A randomized study of cardiovascular effects and quality of life. *American Heart Journal*, 158(6), 1031–1037. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.10.003>
- Molmen-Hansen, H. E., Stolen, T., Tjonna, A. E., Aamot, I. L., Ekeberg, I. S., Tyldum, G. A., Wisloff, U., Ingul, C. B., & Stoylen, A. (2012). Aerobic interval training reduces blood pressure and improves myocardial function in hypertensive patients. *European Journal of Preventive Cardiology*, 19(2), 151–160. <https://doi.org/10.1177/1741826711400512>
- Mora-Rodriguez, R., Ortega, J., Guio de Prada, V., Fernández-Elías, V., Hamouti, N., Morales-Palomo, F., Martínez-Vizcaino, V., & Nelson, R. (2016). Effects of Simultaneous or Sequential Weight Loss Diet and Aerobic Interval Training on Metabolic Syndrome. *International Journal of Sports Medicine*, 37(04), 274–281. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1564259>
- Morales-Palomo, F., Ramirez-Jimenez, M., Ortega, J. F., & Mora-Rodriguez, R. (2019). Effectiveness of Aerobic Exercise Programs for Health Promotion in Metabolic Syndrome. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(9), 1876–1883. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001983>
- Moreira, A., Mortatti, A. L., Gomes, J. H., Paes, F. D. O., & Jeleilati, D. M. (2009). Monitoramento do basquetebol: a utilização da análise dos componentes principais. *Revista Da Educação Física/UEM*, 20(1), 51–59. <https://doi.org/10.4025/reveducfis.v20i1.5145>
- Mourot, L., Perrey, S., Tordi, N., & Rouillon, J. D. (2004). Evaluation of Fitness Level by the Oxygen Uptake Efficiency Slope After a Short-Term Intermittent Endurance Training.

- International Journal of Sports Medicine*, 25(2), 85–91. <https://doi.org/10.1055/s-2004-819943>
- Murray, J. M., Brennan, S. F., French, D. P., Patterson, C. C., Kee, F., & Hunter, R. F. (2017). Effectiveness of physical activity interventions in achieving behaviour change maintenance in young and middle aged adults: A systematic review and meta-analysis. *Social Science & Medicine*, 192, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.09.021>
- Myers, J., Arena, R., Franklin, B., Pina, I., Kraus, W. E., McInnis, K., & Balady, G. J. (2009). Recommendations for Clinical Exercise Laboratories. *Circulation*, 119(24), 3144–3161. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192520>
- Myers, J., Buchanan, N., Walsh, D., Kraemer, M., McAuley, P., Hamilton-Wessler, M., & Froelicher, V. F. (1991). Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *Journal of the American College of Cardiology*, 17(6), 1334–1342. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(10\)80144-5](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(10)80144-5)
- Myers, J., McAuley, P., Lavie, C. J., Despres, J.-P., Arena, R., & Kokkinos, P. (2015). Physical Activity and Cardiorespiratory Fitness as Major Markers of Cardiovascular Risk: Their Independent and Interwoven Importance to Health Status. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 57(4), 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2014.09.011>
- Niemeyer, M., Knaier, R., & Beneke, R. (2021). The Oxygen Uptake Plateau—A Critical Review of the Frequently Misunderstood Phenomenon. *Sports Medicine*, 51(9), 1815–1834. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01471-4>
- Nilsson, H., Nylander, E., Borg, S., Tamás, É., & Hedman, K. (2019). Cardiopulmonary exercise testing for evaluation of a randomized exercise training intervention following aortic valve replacement. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 39(1), 103–110. <https://doi.org/10.1111/cpf.12545>
- Oviedo, G. R., Garcia-Retortillo, S., Carbó-Carreté, M., Guerra-Balic, M., Balagué, N., Javierre, C., & Guàrdia-Olmos, J. (2021). Cardiorespiratory Coordination During Exercise in Adults With Down Syndrome. *Frontiers in Physiology*, 12, 1–10.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.704062>

- Owen, N., Healy, G. N., Matthews, C. E., & Dunstan, D. W. (2010). Too Much Sitting: The Population-Health Science of Sedentary Behavior. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 38(3), 105–113. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181e373a2>
- Papadakis, Z., Etchebaster, M., & Garcia-Retortillo, S. (2022). Cardiorespiratory Coordination in Collegiate Rowing: A Network Approach to Cardiorespiratory Exercise Testing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13250. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013250>
- Pattyn, N., Coeckelberghs, E., Buys, R., Cornelissen, V. A., & Vanhees, L. (2014). Aerobic Interval Training vs. Moderate Continuous Training in Coronary Artery Disease Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(5), 687–700. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0158-x>
- Pattyn, N., Cornelissen, V. A., Eshghi, S. R. T., & Vanhees, L. (2013). The effect of exercise on the cardiovascular risk factors constituting the metabolic syndrome: A meta-analysis of controlled trials. *Sports Medicine*, 43(2), 121–133. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0003-z>
- Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 559–572. <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>
- Pedersen, B. K., & Saltin, B. (2015). Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 1–72. <https://doi.org/10.1111/sms.12581>
- Phillips, D. B., Collins, S., & Stickland, M. K. (2020). Measurement and Interpretation of Exercise Ventilatory Efficiency. *Frontiers in Physiology*, 11, 659. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00659>
- Pichon, A., & Antoine-Jonville, S. (2010). Oxygen uptake efficiency slope. In P. Connes, O. Hue, & S. Perrey (Eds.), *Exercise Physiology: From Cellular to an Integrative* (pp. 316–326). Biomedical.

- Prochaska, J. O., & DiClemente, C. C. (1983). Stages and processes of self-change of smoking: Toward an integrative model of change. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 51*(3), 390–395. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.51.3.390>
- Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Tjonna, A. E., Beetham, K. S., & Coombes, J. S. (2015). The Impact of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Vascular Function: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine, 45*(5), 679–692. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0321-z>
- Rankin, A. J., Rankin, A. C., MacIntyre, P., & Hillis, W. S. (2012). Walk or run? Is high-intensity exercise more effective than moderate-intensity exercise at reducing cardiovascular risk? *Scottish Medical Journal, 57*(2), 99–102. <https://doi.org/10.1258/smj.2011.011284>
- Reljic, D., Wittmann, F., & Fischer, J. E. (2018). Effects of low-volume high-intensity interval training in a community setting: a pilot study. *European Journal of Applied Physiology, 118*(6), 1153–1167. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3845-8>
- Robergs, R. A., Dwyer, D., & Astorino, T. (2010). Recommendations for Improved Data Processing from Expired Gas Analysis Indirect Calorimetry. *Sports Medicine, 40*(2), 95–111. <https://doi.org/10.2165/11319670-000000000-00000>
- Rognmo, Ø., Hetland, E., Helgerud, J., Hoff, J., & Slørdahl, S. A. (2004). High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation, 11*(3), 216–222. <https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000131677.96762.0c>
- Rognmo, Ø., & Wisløff, U. (2019). Exercise in medicine. *Progress in Cardiovascular Diseases, 62*(2), 85. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2019.03.001>
- Ross, R., Blair, S. N., Arena, R., Church, T. S., Després, J.-P., Franklin, B. A., Haskell, W. L., Kaminsky, L. A., Levine, B. D., Lavie, C. J., Myers, J., Niebauer, J., Sallis, R., Sawada, S. S., Sui, X., & Wisløff, U. (2016). Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation, 134*(24). <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000461>

- Ross, R., De Lannoy, L., & Stotz, P. J. (2015). Separate effects of intensity and amount of exercise on interindividual cardiorespiratory fitness response. *Mayo Clinic Proceedings*, 90(11), 1506–1514. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.07.024>
- Rueggsegger, G. N., & Booth, F. W. (2018). Health Benefits of Exercise. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(7), a029694. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029694>
- Sabbahi, A., Arena, R., Kaminsky, L. A., Myers, J., & Phillips, S. A. (2018). Peak Blood Pressure Responses During Maximum Cardiopulmonary Exercise Testing. *Hypertension*, 71(2), 229–236. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.117.10116>
- San-Millán, I., & Brooks, G. A. (2018). Assessment of Metabolic Flexibility by Means of Measuring Blood Lactate, Fat, and Carbohydrate Oxidation Responses to Exercise in Professional Endurance Athletes and Less-Fit Individuals. *Sports Medicine*, 48(2), 467–479. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0751-x>
- Schjerve, I. E., Tyldum, G. A., Tjønnå, A. E., Stølen, T., Loennechen, J. P., Hansen, H. E. M., Haram, P. M., Heinrich, G., Bye, A., Najjar, S. M., Smith, G. L., Slørdahl, S. A., Kemi, O. J., & Wisløff, U. (2008). Both aerobic endurance and strength training programmes improve cardiovascular health in obese adults. *Clinical Science*, 115(9), 283–293. <https://doi.org/10.1042/CS20070332>
- Schulz, Altman, D. G., & Moher, D. (2011). CONSORT 2010 statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *International Journal of Surgery*, 9(8), 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2011.09.004>
- Sietsema, K., Stringer, W., Sue, D., & Ward, S. (2020). *Wasserman and Whipp's Principles of Exercise Testing and Interpretation* (K. Sietsema, W. Stringer, D. Sue, & S. Ward (eds.); 6th ed.). Wolters Kluwer.
- Silva, B. N. M. da, Galliano, L. M., & Vecchio, F. B. Del. (2020). Relativizing effects of high intensity interval training vs continuous moderate. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 22(April), 103–113. <https://doi.org/10.1590/1980-0037.2020v22e68179>
- Stensvold, D., Tjønnå, A., & Skaug, E. (2010). Strength training versus aerobic interval training

- to modify risk factors of metabolic syndrome. *Journal of Applied Physiology*, 108, 804–810. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00996.2009>.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Taylor, H., Henschel, a, & Buskirk, E. (1955). Maximal Oxygen Make us ati Objective Cur&u-Respird tory Pefurmancel. *Journal of Applied Physiology*, 73–80.
- Thompson, P. D., & Eijsvogels, T. M. H. (2018). New Physical Activity Guidelines. *JAMA*, 320(19), 1983. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.16070>
- Tjønnå, Arnt E., Stølen, T. O., Bye, A., Volden, M., Slørdahl, S. A., Ødegård, R., Skogvoll, E., & Wisløff, U. (2009). Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clinical Science*, 116(4), 317–326. <https://doi.org/10.1042/CS20080249>
- Tjønnå, Arnt Erik, Lee, S. J., Rognmo, Ø., Stølen, T. O., Bye, A., Haram, P. M., Loennechen, J. P., Al-Share, Q. Y., Skogvoll, E., Slørdahl, S. A., Kemi, O. J., Najjar, S. M., & Wisløff, U. (2008a). Aerobic Interval Training Versus Continuous Moderate Exercise as a Treatment for the Metabolic Syndrome. *Circulation*, 118(4), 346–354. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.772822>
- Tjønnå, Arnt Erik, Lee, S. J., Rognmo, Ø., Stølen, T. O., Bye, A., Haram, P. M., Loennechen, J. P., Al-Share, Q. Y., Skogvoll, E., Slørdahl, S. A., Kemi, O. J., Najjar, S. M., & Wisløff, U. (2008b). Aerobic Interval Training Versus Continuous Moderate Exercise as a Treatment for the Metabolic Syndrome. *Circulation*, 118(4), 346–354. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.772822>
- Tjønnå, Arnt Erik, Leinan, I. M., Bartnes, A. T., Jenssen, B. M., Gibala, M. J., Winnett, R. A., & Wisløff, U. (2013). Low- and High-Volume of Intensive Endurance Training Significantly Improves Maximal Oxygen Uptake after 10-Weeks of Training in Healthy Men. *PLoS ONE*, 8(5), e65382. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065382>
- Troiano, R. P., Berrigan, D., Dodd, K. W., Mâsse, L. C., Tilert, T., & Mcdowell, M. (2008).

- Physical Activity in the United States Measured by Accelerometer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1), 181–188. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815a51b3>
- Ugalde-Ramírez, J. A., & Rodríguez-Porras, L. (2021). Indicadores técnico-tácticos que influyeron en el rendimiento deportivo de los equipos en el mundial femenino 2019. *Revista Iberoamericana de Ciencias de La Actividad Física y El Deporte*, 10(2), 112–125. <https://doi.org/10.24310>
- Van Laethem, C., Van De Veire, N., De Backer, G., Bihija, S., Seghers, T., Cambier, D., Vanderheyden, M., & De Sutter, J. (2007). Response of the oxygen uptake efficiency slope to exercise training in patients with chronic heart failure. *European Journal of Heart Failure*, 9(6–7), 625–629. <https://doi.org/10.1016/j.ejheart.2007.01.007>
- Weston, K., Wisløff, U., & Coombes, J. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(16), 1227–1234. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092576>
- Weston, M., Taylor, K. L., Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2014). Effects of Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIT) on Fitness in Adults: A Meta-Analysis of Controlled and Non-Controlled Trials. *Sports Medicine*, 44(7), 1005–1017. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0180-z>
- WHO. (2018). Healthy-lifestyle counselling. In *HEARTS Technical package for cardiovascular disease management in primary health care*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260422/WHO-NMH-NVI-18.1-eng.pdf?sequence=1>
- Wiley, J. F., & Carrington, M. J. (2016). A metabolic syndrome severity score: A tool to quantify cardio-metabolic risk factors. *Preventive Medicine*, 88, 189–195. <https://doi.org/10.1016/J.YPMED.2016.04.006>
- Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognum, Ø., Haram, P. M., Tjønnå, A. E., Helgerud, J., Slørdahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Ellingsen, Ø., & Skjærpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval

training versus moderate continuous training in heart failure patients: A randomized study.

Circulation, 115(24), 3086–3094.

<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041>

Wong, S., Katzmarzyk, P. T., Nichaman, M. Z., Church, T. S., Blair, S. N., & Ross, R. (2004).

Cardiorespiratory Fitness is Associated with Lower Abdominal Fat Independent of Body Mass Index. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 286–291.

<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113665.40775.35>

Wood, R. E., Hills, A. P., Hunter, G. R., King, N. A., & Byrne, N. M. (2010). V'O₂max in

Overweight and Obese Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(3), 470–477.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b666ad>

World Health Organization. (2011). *Waist Circumference and Waist–Hip Ratio: Report of a*

WHO Expert Consultation. 1, 8–11. www.who.int

Yue, T., Wang, Y., Liu, H., Kong, Z., & Qi, F. (2022). Effects of High-Intensity Interval vs.

Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiac Rehabilitation in Patients With Cardiovascular Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in*

Cardiovascular Medicine, 9. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.845225>

Žumbakytė-Šermukšnienė, R., Kajėnienė, A., Vainoras, A., Berškienė, K., Augutienė, V.,

Zumbakytė-Šermukšnienė, R., Kajėnienė, A., Vainoras, A., Berškienė, K., & Augutienė,

V. (2010). Assessment of functional conditions of basketball and football players during

the load by applying the model of integrated evaluation. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*,

46(6), 421–428.

APÉNDICES

Apèndice A



FULL CONSENTIMENT INFORMAT
Belluga't de CAP a peus

Nom i cognoms de l'usuari/a:

DNI:

Després d'haver estat informat/da amb claredat sobre l'estudi "Belluga't de CAP a peus": Eficàcia de l'exercici físic guiat i l'assessorament per a la reducció del sedentarisme en el maneig del risc metabòlic en adults poc actius; assaig clínic aleatori controlat.

Entenc que les meves responsabilitats i obligacions com a participant a l'estudi són les següents:

- Em comprometo a assistir a les sessions programades per a l'adquisició d'un estil de vida saludable (exercici físic, alimentació, altres hàbits,...) del grup que hem sigut assignat a l'atzar.
- Em comprometo a participar a les bateries de proves de valoració que es realitzaran 3 cops al llarg de l'estudi:
 - Extracció de sang (perfil lipídic, glucosa, risc metabòlic)
 - Pes, talla, perímetre abdominal i maluc
 - Bioimpedància
 - Tensió arterial
 - Registre dels hàbits d'exercici físic durant 7 dies amb un acceleròmetre
 - Realitzar els qüestionaris d'alimentació, de qualitat de vida i si s'escau valoració dels hàbits tabàquics.
 - Bateria de tests de condició física (equilibri, mobilitat anterior tronc, salt longitudinal, dinamometria manual)
 - Prova d'esforç amb anàlisi de gasos, microextraccions de sang i registre electrocardiogràfic
- Autoritzo el personal investigador l'accés a la meua història clínica informatitzada de l'Institut català de la salut (per poder programar i consultar les analítiques i els antecedents).

Entenc que les places al programa són limitades, i que pel fet d'acceptar participar en el mateix em comprometo a complir les meves responsabilitats i obligacions, i que si no estic convençut/a de poder aprofitar al màxim aquesta oportunitat és millor deixar la plaça a un altre usuari/a.

Ús confidencial:

Es mantindrà absoluta confidencialitat de les meves dades personals en compliment de la llei 15/1999 de 13 de desembre del 1999, de protecció de dades personals.

Al finalitzar l'estudi rebré informació dels resultats.

En qualsevol moment em puc retirar de l'estudi, indicant-ho per escrit o verbalment, sense que aquest fet repercuteixi negativament en els altres tractaments que pugui necessitar.

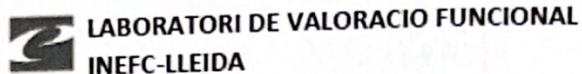
Sóc conscient de la informació inclosa en aquest formulari, comprenc els procediments (qüestionaris, proves), i accepto lliurement participar en l'estudi: "belluga't de CAP a peus". Eficàcia de l'exercici físic guiat i l'assessorament per a la reducció del sedentarisme en el maneig del risc metabòlic en adults poc actius; assaig clínic aleatori controlat.

Signatura participant

Nom i Signatura investigador/a

Lleida, a de de 2016

Apéndice B



FULL DE RECOLLIDA DE DADES PERSONALS
Belluga't de CAP a peus

PROVA D'ESFORÇ:

Nom de l'investigador/a: _____ Data de realització: ____/____/____

Nom i Cognoms participant: _____ Codi: _____

PROTOCOL: ERGOMETRE: ESCALFAMENT:

TEMPS	Cadència	Resistència	Potència	FC	PA	Borg
minuts	rpm	kp	watts	bpm	mmHg	
REPÒS						
0 → 30"						
→ 1'00"						
→ 1'30"						
→ 2'00"						
→ 2'30"						
→ 3'00"						
→ 3'30"						
→ 4'00"						
→ 4'30"						
→ 5'00"						
→ 5'30"						
→ 6'00"						
→ 6'30"						
→ 7'00"						
→ 7'30"						
→ 8'00"						
→ 8'30"						
→ 9'00"						
→ 9'30"						
→ 10'00"						
→ 10'30"						
→ 11'00"						
→ 11'30"						
→ 12'00"						
→ 12'30"						
→ 13'00"						
→ 13'30"						
→ 14'00"						
→ 14'30"						

RECUPERACIÓ:

OBSERVACIONS:

Apéndice C

**INFORME DEL COMITÈ ÈTIC D'INVESTIGACIÓ CLÍNICA**

Rosa Morros Pedrós, Presidenta del Comitè Ètic d'Investigació Clínica de l'IDIAP Jordi Gol.

CERTIFICA:

Que aquest Comitè en la reunió del dia 03/02/2016, ha avaluat el projecte ***Eficàcia de l'exercici físic guiat i l'assessorament per a la reducció del sedentarisme en el maneig del risc metabòlic en adults poc actius; assaig clínic aleatori controlat.*** amb el codi **P15/122** presentat per l'Investigador/a **Assumpta Ensenyat Solé.**

Considera que respecta els requisits ètics de confidencialitat i de bona pràctica clínica vigents.

Barcelona, a 20/01/2016