



FACULTAD DE
CIENCIAS DEL DEPORTE

Universidad de Granada



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Programa de ejercicio físico concurrente para la mejora de la salud cardiovascular en adultos con síndrome metabólico: The HANDLE MetS Program

Autor Molina Fernández, Marcos

Tutor académico Ruiz Ruiz, Jonatan

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Curso académico 2022/2023



RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado se centra en la mejora de la salud cardiovascular en personas con síndrome metabólico como un problema de salud pública de primer orden. En primer lugar, se realiza un análisis detallado de la epidemiología y las causas subyacentes del síndrome metabólico, así como su papel en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus tipo 2. A continuación, se investiga el efecto terapéutico del ejercicio físico como una estrategia no farmacológica respaldada por la literatura científica. Por último, se desarrolla un programa de intervención basado en el entrenamiento concurrente, que incluye la evaluación, monitorización y periodización del programa, dirigido a mejorar la salud cardiovascular de esta población.

Palabras clave: obesidad, resistencia a la insulina, hipertensión, dislipidemia, entrenamiento de fuerza, entrenamiento interválico de alta intensidad.

ABSTRACT

This final degree project focuses on improving cardiovascular health in individuals with metabolic syndrome as a major public health issue. Firstly, a detailed analysis of the epidemiology and underlying causes of the metabolic syndrome is conducted, along with its role in the development of cardiovascular diseases and type 2 diabetes mellitus. Subsequently, the therapeutic effect of physical exercise is investigated as a non-pharmacological strategy supported by scientific literature. Finally, a concurrent training-based intervention program is developed, which includes program evaluation, monitoring, and periodization, aimed at improving the cardiovascular health of this population.

Key words: obesity, insulin resistance, hypertension, dyslipidemia, resistance training, high intensity interval training.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Aproximación conceptual y epidemiología del síndrome metabólico.....	1
1.1.1. Síntomas y diagnóstico.....	1
1.1.2. Prevalencia.....	3
1.1.3. Causas.....	4
1.1.4. Enfermedades y costes asociados.....	8
1.2. Prevención y tratamiento del síndrome metabólico.....	9
1.2.1. Diferencias entre sexos.....	10
2. Fundamentación y justificación del programa de intervención.....	11
2.1. Beneficios del ejercicio físico en adultos con síndrome metabólico.....	12
2.1.1. Efecto del ejercicio aeróbico.....	12
2.1.2. Efecto del ejercicio de fuerza.....	15
2.1.3. Efecto del entrenamiento concurrente.....	15
2.2. Beneficios del ejercicio físico sobre el riesgo de mortalidad por cualquier causa y comorbilidad.....	16
2.3. Contraindicaciones y riesgos de la práctica de ejercicio físico sobre la salud en personas adultas con síndrome metabólico.....	19
3. Estrategia y planificación: The HANDLE MetS Program.....	19
3.1. Objetivos del programa.....	19
3.2. Definición del proyecto y justificación científica.....	20
3.3. Programa de intervención.....	21
3.3.1. Procedimiento y temporalización.....	21
3.3.2. Recursos humanos, materiales y tecnológicos.....	22
3.4. Periodización y diseño del programa de entrenamiento.....	24
3.5. Evaluación del programa de intervención.....	27
3.5.1. Entrevista y evaluación inicial.....	27
3.5.2. Monitorización del entrenamiento.....	32
3.5.3. Evaluación intermedia y final.....	35
3.4. Análisis DAFO.....	36
3.5. Personas, entidades u organizaciones que pueden contribuir favorablemente al desarrollo del programa o dificultarlo.....	37
4. Motivación y desarrollo profesional.....	38
5. Conclusiones.....	39
6. Agradecimientos.....	39
7. Referencias bibliográficas.....	39

1. Introducción

1.1. Aproximación conceptual y epidemiología del síndrome metabólico

La palabra síndrome se utiliza en el contexto médico con el significado de coexistencia, esto es, describe un conjunto de signos y síntomas que aparecen juntos y están relacionados con una enfermedad en concreto (Nilsson et al., 2019). De esta forma, el síndrome metabólico (del inglés, metabolic syndrome, en adelante MetS) se trata de un conjunto de factores de riesgo para desarrollar enfermedad cardiovascular (del inglés, cardiovascular disease, en adelante CVD) y diabetes mellitus tipo 2 (del inglés, type 2 diabetes, en adelante T2D). Los factores de riesgo que suelen presentarse de forma simultánea con frecuencia son la obesidad abdominal, la resistencia a la insulina, la hipertensión y la dislipidemia (Alberti et al., 2009).

1.1.1. Síntomas y diagnóstico

Se trata de un síndrome que no presenta una sintomatología concreta, debido a que sus componentes (salvo la obesidad) describen cuadros clínicos silenciosos y no aparentes, lo que dificulta su diagnóstico precoz y resalta la importancia de la prevención (AHA, 2023; NHLBI, 2023). Sin embargo, la hiperglucemia puede mostrar síntomas similares a los de la T2D, como el cansancio, un incremento en la sed, en la micción nocturna o visión borrosa (NHLBI, 2023).

El MetS se ha definido de forma ligeramente diferente por distintas organizaciones a lo largo del tiempo, en función de qué factores de riesgo y su importancia relativa considerase cada una, condicionando a su vez su diagnóstico (Saklayen, 2018). La primera caracterización del MetS fue realizada por Reaven (1988) en su participación en la Conferencia Banting acerca del rol de la resistencia a la insulina en la etiología de la T2D, hipertensión y enfermedad arterial coronaria. Denominó “síndrome X” al grupo de factores de riesgo derivados de la resistencia a la insulina, consistente en: obesidad, hiperinsulinemia, hiperglucemia, hipertensión y dislipidemia.

La primera definición formal del MetS fue propuesta en 1998 por la Organización Mundial de la Salud (en adelante, OMS) y se fundamentó en la obesidad abdominal combinada con otras anormalidades metabólicas, siendo el mayor factor de riesgo la resistencia a la insulina (Alberti et al., 2009; Huang, 2009). Por tanto, la resistencia a la insulina o hiperglucemia (glucemia > 110 mg/dL en ayunas o > 140 mg/dL 2h tras ingesta de una sobrecarga oral de glucosa) se consideró como un requisito en el diagnóstico del MetS, necesitando únicamente dos factores de riesgo adicionales para dar positivo el diagnóstico (*ver Tabla 1*) (Huang, 2009; Saklayen, 2018).

En 2001 el Instituto Nacional del Corazón, los Pulmones y la Sangre (del inglés, National Heart, Lung and Blood Institute, en adelante NHLBI) de Estados Unidos publicó en el seno del Programa Nacional de Educación sobre el Colesterol del Comité de Tratamiento para Adultos III (del inglés, National Cholesterol Education Program Adult

Treatment Panel III, en adelante NCEP-ATP III), que se debía dejar de utilizar la resistencia a la insulina como criterio excluyente y establecía un diagnóstico positivo si se presentaban tres o más de los cinco factores de riesgo (*ver Tabla 1*) (Huang, 2009; Saklayen, 2018). Más adelante, en 2005 la Federación Internacional de la Diabetes (del inglés, International Diabetes Federation, en adelante IDF) estableció sus propios criterios para el diagnóstico del MetS, coincidiendo con los mismos parámetros establecidos en el NCEP-ATP III, salvo para el perímetro de cintura. La IDF establece que, además de que el perímetro de cintura ha de ser > 94 cm en hombres y > 80 cm en mujeres, se trata de un criterio excluyente, que deberá acompañarse por dos o más de los otros cuatro factores de riesgo (*ver Tabla 1*) (Huang, 2009; Saklayen, 2018).

Tabla 1. Comparación de los criterios para el diagnóstico del síndrome metabólico según la entidad que los define, adaptado de Huang (2009) y Nilsson et al. (2019).

Criterios	OMS (1998)	NCEP-ATP III (2001)	IDF (2005)	Armonizada (2009)
Criterio de exclusión	Resistencia a la insulina: glucosa en ayunas \geq 100 mg/dL, diabetes u otra similar	No	Obesidad central: PC \geq 94 cm en hombres y \geq 80 cm en mujeres	No
Positivo si	Resistencia a la insulina o diabetes, más dos de los cuatro criterios de debajo	Cumplir tres de los cinco criterios de debajo	Obesidad, más dos de los cuatro criterios de debajo	Cumplir tres de los cinco criterios de debajo
Obesidad	IMC > 30 kg/m ² ; o ratio cintura/cadera > 0,90 en hombres y > 0,85 en mujeres	PC > 40 pulgadas en hombres o > 35 pulgadas en mujeres	Criterio de exclusión	Umbral de PC específicas del país y la población
Hiperglicemia	Criterio de exclusión	Glucosa en ayunas \geq 100 mg/dL o tratamiento farmacológico	Glucosa en ayunas \geq 100 mg/dL	Glucosa en ayunas \geq 100 mg/dL
Dislipidemia	TG \geq 150 mg/dL o HDL-C < 35 mg/dL en hombres y < 39 mg/dL en mujeres	TG \geq 150 mg/dL o tratamiento farmacológico	TG \geq 150 mg/dL o tratamiento farmacológico	TG \geq 150 mg/dL o tratamiento farmacológico
Dislipidemia (por separado)	No	HDL-C < 40 mg/dL en hombres y < 50 mg/dL en mujeres, o tratamiento farmacológico	HDL-C < 40 mg/dL en hombres y < 50 mg/dL en mujeres, o tratamiento farmacológico	HDL-C < 40 mg/dL en hombres y < 50 mg/dL en mujeres, o tratamiento farmacológico
Hipertensión	PAS \geq 140 mmHg o PAD \geq 90 mmHg	PAS > 130 mmHg, PAD > 85 mmHg o tratamiento farmacológico	PAS > 130 mmHg, PAD > 85 mmHg o tratamiento farmacológico	PAS \geq 130 mmHg, PAD \geq 85 mmHg o tratamiento farmacológico
Otros criterios	Excreción urinaria de albúmina \geq 20 μ g/min o ratio albúmina/creatinina \geq 30 mg/g	No	No	No

Abreviaturas: HDL-C, lipoproteínas de elevada densidad; IDF, Federación Internacional de la Diabetes; IMC, índice de masa corporal; NCEP-ATP III, Programa Nacional de Educación sobre el Colesterol del Comité de Tratamiento para Adultos III; OMS, Organización Mundial de la Salud; PAD, presión arterial diastólica; PAS, presión arterial sistólica; PC, perímetro de cintura; TG, triglicéridos.

Alberti et al., (2009) publicaron posteriormente una declaración de consenso aunando a la IDF, el NHBLI, la Asociación Americana del Corazón, la Sociedad

Internacional de la Aterosclerosis, la Federación Mundial del Corazón y la Asociación Internacional para el Estudio de la Obesidad para unificar las disparidades de las definiciones propuestas. Se acordó que ninguno de los criterios ha de ser excluyente, manteniendo que el diagnóstico es positivo si se cumplen tres o más de los cinco criterios. Además, se mantienen los mismos puntos de corte propuestos por el NHLBI en 2001 para todos los criterios (*ver Tabla 1*), excepto para el perímetro de cintura. Dicha excepción es debida a la disparidad de propuestas, por lo que se mantiene no especificado, debiendo ser concretado por los puntos de corte clínicos específicos de cada población o región (Alberti et al., 2009). En el caso de la población española, el umbral del perímetro de cintura se sitúa en $> 94,5$ cm para hombres y $> 89,5$ cm para mujeres (Cuesta et al., 2020).

En función del criterio utilizado para medir el perímetro de cintura podremos identificar a un mayor o un menor número de personas con MetS. Sin embargo, en países o poblaciones con altas tasas de obesidad como la americana la diferencia en el diagnóstico con uno u otro criterio no es realmente significativa, debido a que la obesidad abdominal tiene una alta correlación con los otros cuatro componentes del MetS (Alberti et al., 2009). No obstante, actualmente han surgido numerosas limitaciones en estos criterios, ya que no tienen en cuenta otros biomarcadores con una gran correlación y capacidad predictiva (*ver Apartado 1.1.3*), ni tampoco diversos factores genéticos y ambientales relacionados o que interaccionan con el cuadro clínico como, por ejemplo, la edad, el sexo, la calidad y cantidad de sueño, el nivel de actividad física o la condición física.

1.1.2. Prevalencia

La prevalencia del MetS se establece en un 20-25% de la población mundial, tratándose de una de las principales enfermedades no transmisibles del mundo occidental (Lear & Gasevic, 2020; Saklayen, 2018). Sin embargo, ésta depende tanto del país como de la etnia o raza a la que pertenezca el individuo dentro de esa población. Por ejemplo, la prevalencia en la población adulta de los Estados Unidos es del 33,4%, pero la distribución entre razas difiere observándose una tasa significativamente mayor en los hispanos respecto a los afroamericanos (Lear & Gasevic, 2020).

En el caso de España, existen distintos estudios que tratan de analizar la prevalencia en distintas poblaciones del país, observándose en todos ellos que la prevalencia en varones es mayor que en mujeres. El estudio DARIOS analizó una cohorte de 24.670 individuos de entre 35 y 74 años de edad pertenecientes a 10 comunidades autónomas del país, reportando una prevalencia del 32% en hombres y del 29% en mujeres (empleando los criterios armonizados y el umbral clásico de perímetro de cintura de ≥ 102 en varones y ≥ 88 cm en mujeres) (Fernández-Bergés et al., 2012). El estudio ENRICA analizó una cohorte de 11.149 individuos mayores de 18 años pertenecientes a las 17 comunidades autónomas del país, reportando una prevalencia del 26% en hombres y del 19,4% en mujeres (empleando los criterios armonizados y el umbral clásico de perímetro de cintura de ≥ 102 en varones y ≥ 88 cm en mujeres) (Guallar-Castillón et al., 2014). El estudio di@bet.es analizó una cohorte de 4.727 individuos de entre 18 y 90 años de edad pertenecientes a las 17 comunidades autónomas del país, reportando una

prevalencia del 42% en hombres y del 32,3% en mujeres (empleando los criterios armonizados y el umbral específico para la población española de perímetro de cintura de $\geq 94,5$ en varones y $\geq 89,5$ cm en mujeres) (Marcuello et al., 2013). Respecto a las comunidades autónomas, Región de Murcia, Islas Baleares, Extremadura e Islas Canarias muestran las mayores tasas de incidencia de MetS en los varones, mientras que Extremadura, Región de Murcia, Islas Canarias y Andalucía muestran las mayores tasas en mujeres (*ver Figura 1*) (Guallar-Castillón et al., 2014).

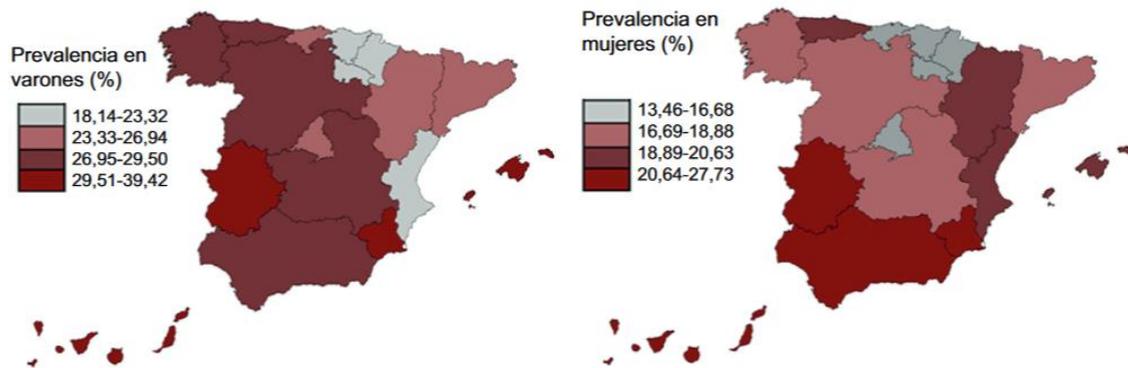


Figura 1. Distribución de la prevalencia de síndrome metabólico por comunidades autónomas en España en el estudio ENRICA, adaptado de Guallar-Castillón et al. (2014).

A pesar de que las estimaciones no son aún precisas, sí se puede predecir un incremento en la prevalencia del MetS a nivel mundial en los próximos años. Esta hipótesis se basa en el incremento gradual de la esperanza de vida y el consecuente envejecimiento de la población, así como al incremento sostenido en el índice de masa corporal (en adelante, IMC), la hiperglucemia y la hipertensión en la población general (Abbas et al., 2020). Actualmente, en España se diagnostican 94.000 nuevos casos de MetS cada año (Cuesta et al., 2020). Estas estimaciones se refieren a población obesa metabólicamente no sana, la cual se caracteriza por ser diagnosticada y supone aproximadamente la mitad de las personas con obesidad (Smith et al., 2019). Sin embargo, la otra mitad de personas obesas metabólicamente sanas, aquellas que únicamente cumplen uno, dos o ningún criterio de diagnóstico (suponiendo estos últimos únicamente entre el 5 y 25% de las personas con obesidad), también tienen un mayor riesgo de mortalidad por cualquier causa y de sufrir CVD y T2D que las personas con normopeso metabólicamente sanos (Smith et al., 2019). Lo que resalta la importancia de promover programas de intervención comunitarios en materia de salud pública dirigidos a toda la población, no solo en aquellos que presentan o tienen riesgo de desarrollar MetS (Smith et al., 2019).

1.1.3. Causas

La fisiopatología del MetS engloba distintos mecanismos complejos que actualmente no se han dilucidado por completo, y menos aún las relaciones existentes entre

estos. Aún se sigue debatiendo si cada uno de estos factores actúa como una entidad propia o se incluyen dentro de un proceso global más grande y complejo (Fahed et al., 2022). La genética y la epigenética predisponen al desarrollo de diversos factores de riesgo cardiovascular. Se conocen al menos 17 variantes genéticas relacionadas en la patogénesis del MetS, asociadas a no más de dos factores de riesgo al mismo tiempo cada una y que intervienen fundamentalmente en el metabolismo glucídico y lipídico (Nilsson et al., 2019). Sin embargo, el estilo de vida y los factores ambientales son los principales causantes del MetS. El estilo de vida occidental se refiere a los patrones de comportamiento, hábitos y prácticas asociados a las sociedades industrializadas occidentales, principalmente en Europa, América del Norte y algunos países de Oceanía. Se caracteriza por una serie de rasgos distintivos que suelen ser comunes en estas sociedades (*ver Figura 2*) (Fahed et al., 2022; Nilsson et al., 2019):

- **Falta de movimiento:** se caracteriza por el sedentarismo e inactividad física, lo que conlleva una baja condición física (Fahed et al., 2022). El sedentarismo se entiende como cualquier comportamiento despierto caracterizado por un gasto energético $\leq 1,5$ equivalentes metabólicos de tarea (del inglés, metabolic equivalent of task, en adelante MET) en una posición sentada, tumbada o reclinada (Tremblay et al., 2017). La inactividad física se define como no alcanzar las recomendaciones diarias de actividad física pautadas por la OMS en Bull et al. (2020) (Tremblay et al., 2017).
- **Ingesta energética excesiva:** es frecuente el consumo de dietas hipercalóricas de baja calidad nutricional, con un elevado consumo de alimentos ultraprocesados, carnes rojas y procesadas, cereales refinados, azúcar, alcohol y sal (Valenzuela et al., 2021).
- **Desincronización de los ritmos circadianos y estrés:** es frecuente el estrés laboral y la desincronización de los ritmos circadianos por la falta de exposición solar durante el día, la exposición al espectro azul de la luz por las pantallas durante la noche y la reducción en la cantidad y calidad del sueño (Valenzuela et al., 2021).

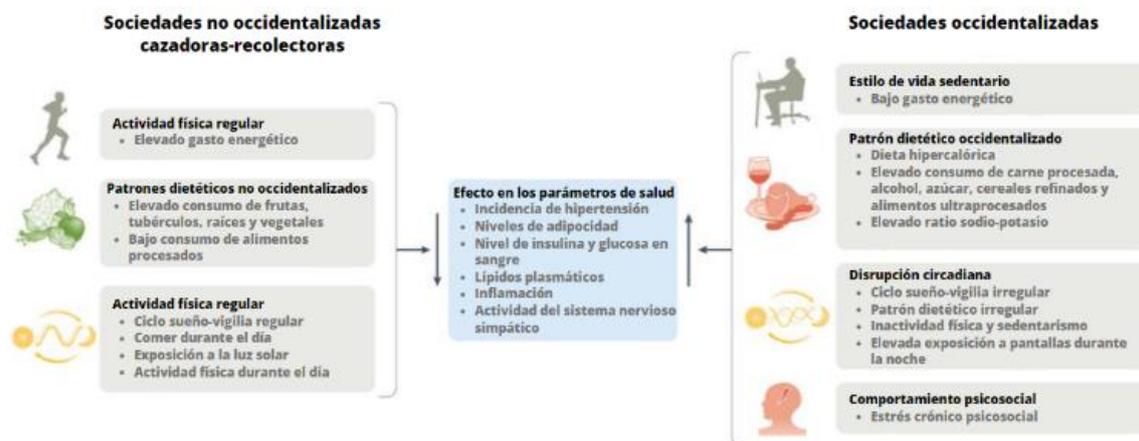


Figura 2. Comparación del efecto sobre parámetros cardiometabólicos entre el estilo de vida occidental actual y el de las sociedades no occidentalizadas cazadoras-recolectoras de nuestros antepasados, adaptado de Valenzuela et al. (2021).

El exceso de ingesta calórica generado por el estilo de vida occidental fomenta la ganancia de peso corporal y de masa grasa, promoviendo la hipertrofia e hiperplasia de los adipocitos (Ambroselli et al., 2023; Prasun, 2020). Esto se asocia en su conjunto con la resistencia a la insulina, siendo estos los principales factores de riesgo del MetS (Fahed et al., 2022). La hipertrofia e hiperplasia de los adipocitos blancos genera estrés e hipoxia local en el tejido adiposo, lo que predispone a la necrosis de los adipocitos y la infiltración de macrófagos (Prasun, 2020). En este contexto, los adipocitos y macrófagos secretan distintos intermediarios proinflamatorios, conocidos como citoquinas (*ver Figura 3*). La interleucina-6 (en adelante IL-6) regula el metabolismo de los ácidos grasos y la glucosa y actúa en el hígado incrementando la producción de la proteína C reactiva (en adelante, PCR), la cual tiene una elevada correlación con un incremento del riesgo de CVD, la T2D y el MetS. Además, favorece un estado protrombótico al incrementar los niveles de fibrinógeno y promover la expresión de moléculas adherentes a las células vasculares (Fahed et al., 2022). El factor de necrosis tumoral α (en adelante TNF α) actúa inactivando los receptores de la membrana celular de la insulina en adipocitos y hepatocitos, promoviendo la lipólisis hepática e incrementando los niveles de ácidos grasos libres (del inglés, free fatty acids, en adelante FFAs). En conjunto, todo ello predispone a la aparición de resistencia a la insulina (Fahed et al., 2022).

Por otro lado, hoy día conocemos que el tejido adiposo no tiene únicamente una función termogénica y de reserva energética, sino que es considerado un verdadero órgano endocrino. El tejido adiposo secreta más de una docena de hormonas, denominadas adipoquinas, que regulan, entre otros, el apetito, la saciedad y el metabolismo energético (Ambroselli et al., 2023; Prasun, 2020). La hipertrofia y el estrés al que se someten los adipocitos altera la secreción dichas adipoquinas (*ver Figura 3*) (Prasun, 2020). Entre ellas, se encuentra la leptina, que regula el apetito y el gasto energético, estando muy ligada a la obesidad abdominal, la resistencia a la insulina y el MetS debido a su efecto proinflamatorio y protrombótico (Cho & Lee, 2022; Prasun, 2020). La adiponectina regula el metabolismo de la glucosa, el apetito y el gasto energético, teniendo un efecto antiinflamatorio y mejora de la sensibilidad a la insulina, por lo que se encuentra disminuido en el contexto del MetS (Cho & Lee, 2022; Prasun, 2020). La quemerina tiene función quimiotáctica e interviene en los procesos inflamatorios, el metabolismo glucídico, la adipogénesis y la angiogénesis, encontrándose elevada en el contexto de la obesidad y el MetS (Fahed et al., 2022).

Este desequilibrio en la secreción de adipoquinas y citoquinas pro/antiinflamatorias genera inflamación sistémica en el organismo, lo que predispone a la resistencia a la insulina (Prasun, 2020; Silveira et al., 2022). La insulina inhibe la lipólisis, por lo que cuando a causa de estos factores se desarrolla resistencia a la insulina en el tejido adiposo, se promueve la lipólisis e incrementa la cantidad de FFAs en circulación. Este proceso genera un círculo vicioso, debido a que los FFAs alteran la cascada de señalización de la insulina en las células de otros órganos; ejemplos de ello serían la reducción de los transportadores de glucosa 4 dependientes de la insulina (del inglés, glucose transporter 4, en adelante GLUT-4) en la membrana de los miocitos y el incremento de la lipogénesis y gluconeogénesis en los hepatocitos. Se produce, por tanto, un incremento de los niveles de insulina requeridos para mantener los niveles de glucosa circulantes, hecho clave en la instauración del proceso de resistencia a la acción de la insulina (*ver Figura 3*) (Fahed et al., 2022). Consecuentemente, este incremento en la

actividad de las células β -pancreáticas para la producción de insulina aumenta el riesgo de padecer T2D (Ambroselli et al., 2023).

Como consecuencia de la alta concentración de FFAs en plasma producida por la hipertrofia de los adipocitos y la resistencia a la insulina, se incrementa la síntesis de ésteres de colesterol y de triglicéridos. Por ello, la síntesis de lipoproteínas de muy baja densidad y lipoproteínas de baja densidad (en adelante LDL) para su transporte se ve aumentada, a la vez que se reduce la cantidad de lipoproteínas de elevada densidad (en adelante HDL) al fomentar su aclaramiento. Esta situación metabólica, conocida como dislipidemia, incrementa el riesgo de sufrir aterosclerosis y por tanto CVD (*ver Figura 3*) (Fahed et al., 2022). Adicionalmente, el estrés oxidativo producido por la obesidad incrementa el riesgo de aterogénesis, debido a la oxidación del LDL por la acción de las especies reactivas de oxígeno (del inglés, reactive oxygen species, en adelante ROS) (Fahed et al., 2022).

Por otro lado, la resistencia a la insulina también contribuye al desarrollo de hipertensión arterial, dada la pérdida del efecto vasodilatador que produce la insulina y la vasoconstricción inducida por la presencia de FFAs, que se explicaría por un incremento de la producción de ROS y la eliminación de óxido nítrico. Adicionalmente, se estimula la activación del sistema nervioso simpático y la reabsorción de sodio en los riñones, procesos que elevan sistemáticamente la presión arterial al favorecer una mayor concentración de moléculas en plasma y la vasoconstricción de los vasos sanguíneos (*ver Figura 3*) (Fahed et al., 2022)

Además, el tejido adiposo produce angiotensinógeno, el cual forma el péptido angiotensina II (en adelante, Ang II) a través de la renina secretada por las células yuxtaglomerulares del riñón y la enzima convertidora de angiotensina en los fluidos corporales y el endotelio de los vasos sanguíneos (Trayhurn & Wood, 2004). Los niveles elevados de Ang II están relacionados con la obesidad y la resistencia a la insulina, teniendo un papel clave en el desarrollo y fisiopatología del MetS (Saiki et al., 2009). El Ang II actúa activando el sistema renina-angiotensina-aldosterona, el principal sistema hormonal que controla la volemia y la presión arterial en el organismo. Los mecanismos por los que eleva la presión arterial son: (1) activa el sistema nervioso simpático y estimula la vasoconstricción de los vasos sanguíneos, (2) estimula la secreción de aldosterona, fomentando la reabsorción de sodio y cloro, la excreción de potasio y la retención de agua, (3) estimula la secreción de hormona antidiurética, fomentando la reabsorción de agua (Valenzuela et al., 2021). Además, el Ang II activa a la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato oxidasa, la cual incrementa la producción de ROS, generando un estatus de inflamación crónica de bajo grado y estrés oxidativo a nivel celular, tisular y sistémico (*ver Figura 3*) (Fahed et al., 2022). Todo ello, contribuye al incremento de la presión arterial y la instauración de hipertensión (Valenzuela et al., 2021).

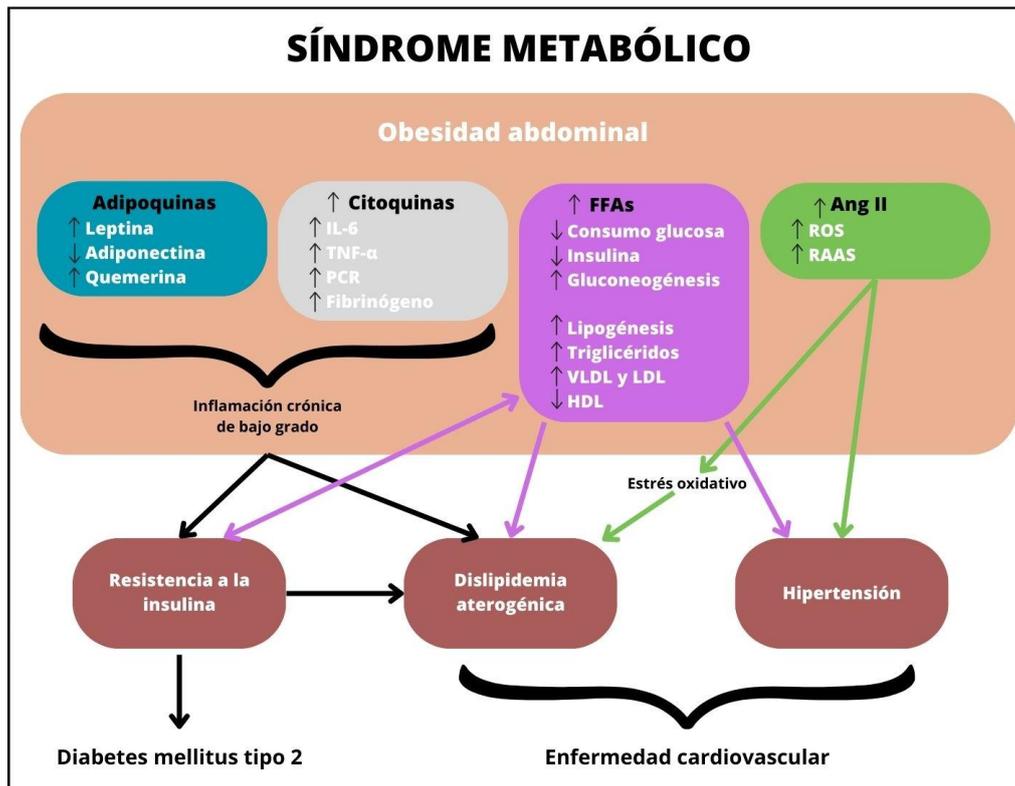


Figura 3. Visión global de la fisiopatología del síndrome metabólico. Elaboración propia. Abreviaturas: HDL: lipoproteínas de elevada densidad; IL-6: interleucina-6; LDL: lipoproteínas de baja densidad; PCR: proteína C reactiva; RAAS: sistema renina-angiotensina-aldosterona; ROS: especies reactivas del oxígeno; TNF- α : factor de necrosis tumoral α ; VLDL: lipoproteínas de muy baja densidad.

De forma complementaria, existen diversos factores que influyen e interaccionan con estos procesos fisiopatológicos y que cada vez cobran un mayor protagonismo, como la edad, el consumo de alcohol y tabaco (Åberg et al., 2023; Bae et al., 2021), la desincronización de los ritmos circadianos y pérdida sueño (Pérez-Martínez et al., 2017; Smiley et al., 2019) y la alteración de la microbiota (Wang et al., 2020).

1.1.4. Enfermedades y costes asociados

Padecer MetS duplica el riesgo de sufrir CVD y quintuplica el riesgo de sufrir T2D (Alberti et al., 2009). Además, incrementa el riesgo de sufrir accidentes cerebrovasculares, accidentes isquémicos transitorios y en un 50% el riesgo de mortalidad por cualquier causa (Angelico et al., 2023; Nilsson et al., 2019). Adicionalmente, el MetS se asocia con una amplia diversidad de condiciones patológicas. El MetS se asocia con un mayor riesgo de sufrir deterioro cognitivo leve (Tahmi et al., 2021) y, junto a la T2D, son factores que predisponen a un mayor riesgo de que la enfermedad progrese hacia demencia, especialmente demencia vascular (Nilsson et al., 2019; Tahmi et al., 2021). Además, el MetS se asocia robustamente con un incremento del riesgo de sufrir neuropatía periférica sensorial criptogénica en los pequeños axones amielínicos de largas fibras del sistema nervioso autónomo tanto en personas con y sin diabetes mellitus tipo 1

y T2D (Kazamel et al., 2021). El MetS también supone una condición patológica que incrementa el riesgo de sufrir la enfermedad del hígado graso no alcohólico. De hecho, la enfermedad del hígado graso no alcohólico se considera la manifestación del MetS en el hígado, ya que ambas comparten los criterios de obesidad y resistencia a la insulina como los principales factores que las originan (Diao et al., 2023). Por último, el MetS también correlaciona positivamente con el riesgo de padecer enfermedad periodontal (Jepsen et al., 2020), enfermedad renal crónica (Hou et al., 2022) y con incidencia y mortalidad en, al menos, ocho tipos de cáncer (por ejemplo, colorrectal, hígado, páncreas, estómago, endometrio, mama, vejiga y próstata) (Belladelli et al., 2022; Karra et al., 2022; Lifshitz et al., 2021).

1.2. Prevención y tratamiento del síndrome metabólico

Dado que el estilo de vida occidental es una de las principales causas del desarrollo del MetS, las intervenciones para su tratamiento y prevención no solo deben sustentarse en la farmacología, sino también promocionar un estilo de vida saludable (Nilsson et al., 2019; Pérez-Martínez et al., 2017). El estilo de vida saludable debe asemejarse al estilo de vida de las sociedades cazadoras-recolectoras (*ver Figura 2*), caracterizado por la actividad física como medio para la supervivencia y una dieta basada en productos lo más naturales posibles, con un elevado aporte de fibra (Valenzuela et al., 2021). Por lo tanto, un programa multicomponente para la mejora de la salud cardiovascular y la calidad de vida en pacientes con MetS debe conformarse en base a tres pilares:

- **Actividad física regular:** se deben cumplir las recomendaciones de actividad física de la OMS y reducir el comportamiento sedentario (Pérez-Martínez et al., 2017). Las recomendaciones para adultos de entre 18 y 64 años son realizar al menos entre 150-300 min de actividad física aeróbica de intensidad moderada, o 75-150 min de actividad física aeróbica de intensidad vigorosa, o una combinación equivalente de ambas a lo largo de la semana (Bull et al., 2020). Además, se recomienda realizar al menos dos días de entrenamiento de fuerza de intensidad moderada o superior que involucre a los principales grupos musculares (Bull et al., 2020).
- **Alimentación saludable:** aunque existen distintos patrones dietéticos que muestran un impacto positivo en el tratamiento del MetS, la dieta mediterránea con o sin déficit calórico se ha mostrado como la opción más eficaz, viable y sostenible para el tratamiento del MetS (Ambroselli et al., 2023; Angelico et al., 2023; Pérez-Martínez et al., 2017). Se caracteriza por (1) un elevado consumo de vegetales, cereales, tubérculos, legumbres y frutas, (2) un consumo moderado de carne, lácteos, pescado y frutos secos, y (3) un consumo reducido de productos ultraprocesados y alcohol. Por tanto, se trata de una dieta rica en fibra con un reducido contenido en azúcares libres y un bajo índice glucémico, rica en ácidos grasos mono y poliinsaturados y con un bajo consumo de ácidos grasos saturados y trans y sal (Ambroselli et al., 2023; Angelico et al., 2023). De hecho, se ha mostrado una asociación directa entre el consumo excesivo de ácidos grasos saturados y azúcares libres con lipotoxicidad, disfunción mitocondrial y MetS.

Por el contrario, el consumo de ácidos grasos mono y poliinsaturados y proteína vegetal se asocian con un mejor perfil cardiometabólico (Lemos et al., 2023).

- **Otros hábitos saludables:** otras aproximaciones que contribuyen favorablemente a la salud cardiometabólica son: (1) dejar de fumar (Pérez-Martínez et al., 2017), (2) regulación de los ritmos circadianos a través de la exposición al sol, ciclos de sueño regulares, mejora de la cantidad y calidad del sueño y el ayuno intermitente (Światkiewicz et al., 2021; Valenzuela et al., 2021) y (3) reducir el estrés de la vida diaria (Valenzuela et al., 2021).

1.2.1. Diferencias entre sexos

El dimorfismo sexual presente entre los hombres y mujeres de la especie humana se evidencia de forma clara por la diferencia entre las concentraciones de hormonas sexuales, las cuales tienen diferentes efectos sobre los mecanismos relacionados con la aparición y el desarrollo del MetS (Wong et al., 2022). Inclusive, a lo largo de la vida del individuo las concentraciones de estas hormonas fluctúan en ambos sexos (*ver Figura 4*) (Wong et al., 2022).

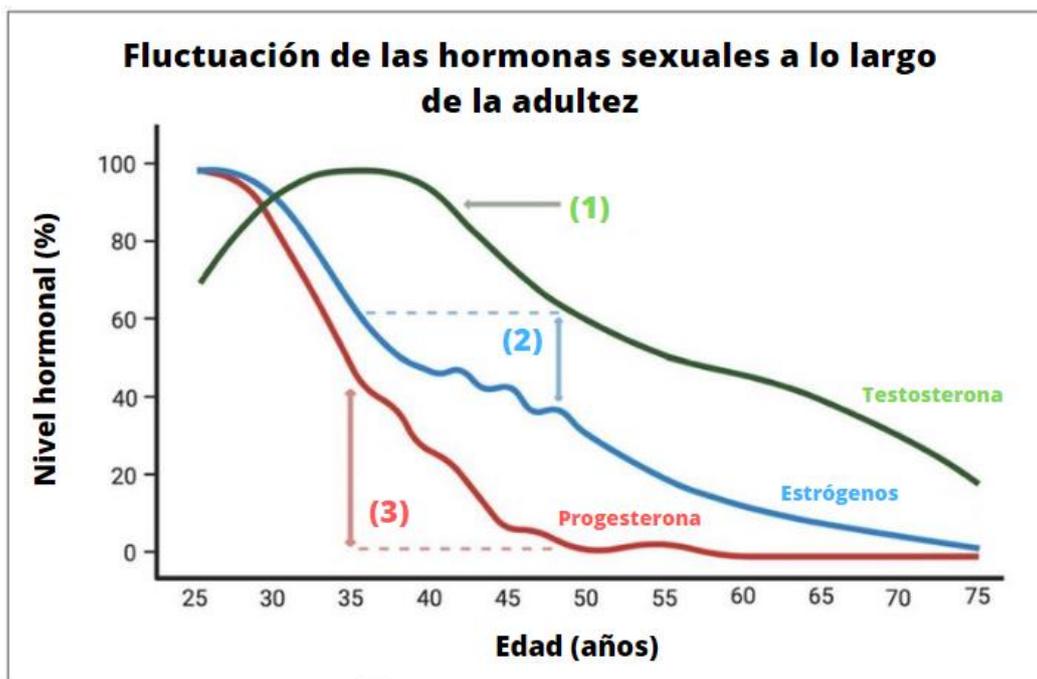


Figura 4. Fluctuación de las hormonas sexuales a lo largo de la vida, adaptado de Wong et al. (2022). (1) La reducción comienza a los 40 años de edad, (2) Se produce una reducción del 35% de los 35 a los 50 años de edad, (3) Se produce una reducción del 75% de los 35 a los 50 años de edad.

A pesar de que existe una mayor prevalencia de sobrepeso y obesidad en mujeres que en hombres, la prevalencia de resistencia a la insulina, hipertensión, dislipidemia y, consecuentemente MetS, es superior en hombres que en las mujeres premenopáusicas (Gerdts & Regitz-Zagrosek, 2019). Este dimorfismo sexual se debe al efecto de las

hormonas sexuales. Por un lado, a pesar de que las mujeres suelen presentar mayor porcentaje de grasa corporal, su disposición suele ser en la zona gluteofemoral, mientras que los hombres tienen mayor predisposición a acumularla en la zona abdominal, particularmente alrededor de los órganos internos, lo que se denomina tejido adiposo visceral (Gerdtz & Regitz-Zagrosek, 2019). Por otro lado, los estrógenos ejercen un papel protector en relación a las CVDs, ya que inhiben la acción de diversas citoquinas proinflamatorias del tejido adiposo, especialmente la adiponectina (Ter et al., 2020), y estimulan la producción de óxido nítrico (Wong et al., 2022). En cambio, la testosterona reduce la producción de óxido nítrico, promueve el estrés oxidativo y fomenta la lipólisis (Wong et al., 2022), lo que incrementa el colesterol LDL y el riesgo de padecer CVD específicamente en hombres (Tsaban & Tsaban, 2022). Además, se ha observado una concentración significativamente más elevada de IL-6 y leptina en hombres respecto a mujeres con MetS (Ter et al., 2020).

Sin embargo, con la pérdida del ciclo menstrual y la liberación de óvulos en la menopausia, se produce una reducción de los estrógenos y progesterona (*ver Figura 4*) (Wong et al., 2022). Es por ello que las mujeres menopáusicas pierden el efecto protector en relación a las CVDs de los estrógenos, incrementando el riesgo de sufrir CVD y MetS a partir de los 45 años. La prevalencia de estas patologías en mujeres mayores a 45 años es similar o incluso superior que la de los hombres de su mismo rango de edad (Gerdtz & Regitz-Zagrosek, 2019). La diferencia entre sexos en relación a la concentración de hormonas sexuales no solo se limita a la prevalencia y riesgo del MetS, sino que también explica patologías propias de cada sexo. En hombres se ha encontrado una asociación entre la alopecia androgénica y el MetS (Qiu et al., 2022), mientras que en las mujeres se ha encontrado una relación positiva entre el síndrome del ovario poliquístico y el MetS (Lim et al., 2019; Osibogun et al., 2020).

El sexo también modula la asociación dosis-respuesta entre el comportamiento sedentario y el riesgo de padecer MetS, aunque los niveles de actividad física o la edad no modulan esta asociación. A pesar de que ambos sexos tienen una asociación positiva lineal entre comportamiento sedentario y riesgo de sufrir MetS, en las mujeres esta asociación es más robusta y consistente. Concretamente, tanto un nivel intermedio (>4h/día) como alto (>5,75h/día) de tiempo de comportamiento sedentario total incrementan significativamente el riesgo de padecer MetS; sin embargo, en los hombres solo un nivel elevado (>6,72h/día) lo incrementa significativamente (Wu et al., 2022).

En resumen, estas diferencias entre hombres y mujeres deben ser tenidas en cuenta a la hora de diagnosticar de forma precoz y evaluar el riesgo que supone padecer MetS en el individuo, aunque actualmente no existe aún evidencia concluyente para establecer unas recomendaciones generales (Gerdtz & Regitz-Zagrosek, 2019; Ter et al., 2020; Tsaban & Tsaban, 2022; Wong et al., 2022).

2. Fundamentación y justificación del programa de intervención

Una vez expuesto y contextualizado el MetS como problema de primer orden en materia de salud pública a nivel regional, nacional y global, surge la necesidad de

desarrollar e implantar un programa de intervención basado en la evidencia científica para la mejora de la salud cardiovascular y la calidad de vida de los adultos con MetS. Como se ha descrito, la intervención más apropiada y eficaz actualmente engloba una aproximación multidisciplinar, cuyo pilar fundamental se encuentra en el incremento de la actividad física diaria, tanto estructurada como no estructurada. A continuación, se detalla la evidencia científica acerca del efecto de la actividad física sobre la salud cardiovascular y el MetS.

2.1. Beneficios del ejercicio físico en adultos con síndrome metabólico

La actividad física regular y una buena condición física reducen la edad biológica y ejercen un papel protector en el desarrollo del MetS, independientemente del sexo (Bae et al., 2021). Además, previenen el desarrollo de sarcopenia, la cual muestra una asociación dosis-respuesta con el riesgo de sufrir MetS, tratándose de un factor de riesgo del MetS independiente de la edad, el sexo y la obesidad (Kim et al., 2021).

El comportamiento sedentario muestra una asociación dosis-respuesta con el riesgo de padecer MetS independientemente de los niveles de actividad física y de la edad (Wu et al., 2022). El tiempo ante una pantalla como subtipo de comportamiento sedentario muestra una asociación más robusta con el desarrollo de MetS. Un incremento de 1 h/día del comportamiento sedentario total aumenta un 5% y 4% el riesgo de sufrir T2D e hipertensión, respectivamente. Además, un incremento de 1 h/día del tiempo ante una pantalla aumenta un 8% y 6% el riesgo de sufrir T2D e hipertensión, respectivamente (Wu et al., 2022). Estos hallazgos pueden deberse a que el tiempo ante una pantalla se asocia con otros comportamientos no saludables, tales como comer entre horas y el reposo tras la ingesta de alimentos, especialmente tras la cena (Wu et al., 2022).

2.1.1. Efecto del ejercicio aeróbico

El ejercicio aeróbico o de resistencia es un tipo de ejercicio físico caracterizado por la contracción repetida y sostenida en el tiempo de la musculatura esquelética, el cual depende de la función cardiorrespiratoria y mitocondrial para la producción de energía. Es el principal promotor de la capacidad cardiorrespiratoria (del inglés, cardiorespiratory fitness, en adelante CRF) y de la biogénesis mitocondrial, por lo que se trata de una herramienta fundamental para prevenir y tratar las enfermedades crónicas metabólicas relacionadas con una función mitocondrial deficiente (Granata et al., 2018; Huertas et al., 2019).

La biogénesis mitocondrial se induce por el incremento de la proteína coactivadora 1- α del receptor γ activado por el proliferador nuclear de peroxisomas (en adelante PGC-1 α) que es un factor transcripcional maestro que regula la expresión génica mitocondrial (*ver Figura 5*) (Huertas et al., 2019). La PGC-1 α se ve alterada por:

- **Sirtuina 1 (en adelante, SIRT-1):** es una proteína que se produce ante el desajuste en el equilibrio redox celular inducido por el volumen de entrenamiento, debido

al incremento en la cantidad de nicotinamida adenina dinucleótido oxidado respecto a la de nicotinamida adenina dinucleótido reducido. Por tanto, el entrenamiento continuo de intensidad moderada (del inglés, moderate intensity continuous training, en adelante MICT) promueve la biogénesis mitocondrial (Huertas et al., 2019; Prasun, 2020), pero también la fusión mitocondrial a través de la PGC-1 α y la contracción mecánica (Huertas et al., 2019).

- **Proteína quinasa dependiente del monofosfato de adenosina (en adelante, AMPK y AMP respectivamente):** se trata de un complejo enzimático que se activa con el incremento en la concentración de AMP respecto a la de adenosín trifosfato (en adelante, ATP) producido por las contracciones explosivas y rápidas demandas de energía que superan la velocidad de producción de ATP. Por tanto, el entrenamiento interválico de alta intensidad (del inglés, high intensity interval training, en adelante HIIT) promueve la biogénesis mitocondrial, pero también el incremento de los GLUT-4 (Huertas et al., 2019; Prasun, 2020) y la formación de respirosomas, supercomplejos respiratorios que incrementan la eficiencia energética de la mitocondria y reduce la producción de radicales libres (Huertas et al., 2017), disminuyendo el estrés oxidativo (Fahed et al., 2022; Huertas et al., 2017).
- **Factor inducible por hipoxia 1 α (en adelante, HIF-1 α):** es una proteína producida por la hipoxia hipobárica en altura o por la hipoxia local producida en los ejercicios explosivos como el HIIT. Promueve la expresión de la PGC-1 α , por lo que fomenta la biogénesis mitocondrial, pero también induce la formación de respirosomas e incrementa la cantidad de GLUT-4 (Huertas et al., 2017, 2019).

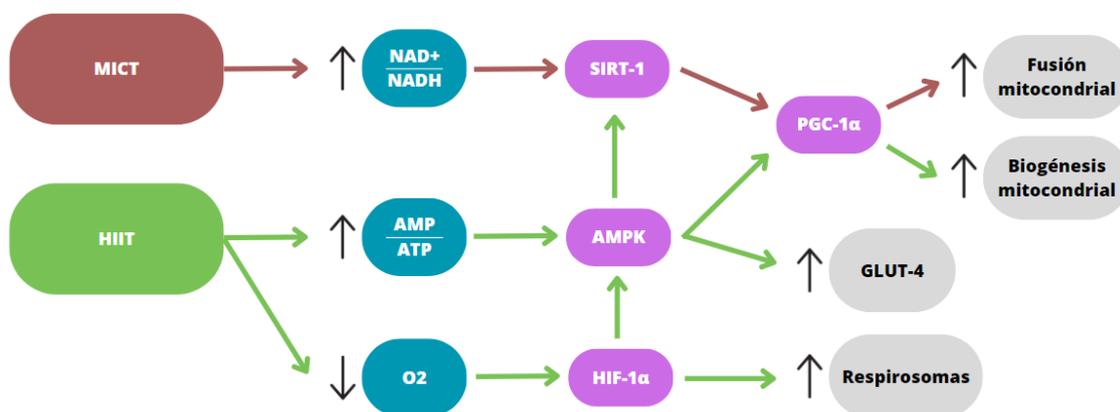


Figura 5. Mecanismos de señalización de la biogénesis mitocondrial inducida por el ejercicio. Elaboración propia. Abreviaturas: AMP, monofosfato de adenosina; AMPK, proteína quinasa dependiente del monofosfato de adenosina; ATP, trifosfato de adenosina; GLUT-4, transportadores de glucosa 4 dependientes de la insulina; HIF-1 α , factor inducible por hipoxia 1 α ; HIIT, entrenamiento interválico de alta intensidad; MICT, entrenamiento continuo de intensidad moderada;; NAD⁺, nicotinamida adenina dinucleótido oxidado; NADH, nicotinamida adenina dinucleótido reducido; PGC-1 α , proteína coactivadora 1- α del receptor γ activado por el proliferador nuclear de peroxisomas; SIRT-1, sirtuina-1.

El ejercicio aeróbico mejora significativamente el perímetro de cintura, la concentración de glucosa en ayunas, la presión arterial diastólica (en adelante, PAD) y la CRF en pacientes con MetS (Wewege et al., 2018). Además, mejora el perfil lipídico al

reducir significativamente el colesterol total, triglicéridos y colesterol LDL y aumentar el colesterol HDL (Wewege et al., 2018; Wood et al., 2021), las apolipoproteínas y las fracciones de lipoproteínas antiaterogénicas y el ratio de lípidos aterogénicos (Wood et al., 2023), siendo la intensidad un mediador al respecto (Wood et al., 2021).

En los últimos años, el HIIT se está posicionando como una alternativa al tradicional MICT, ya que se ha reportado una mejora superior de la CRF medida a través del consumo máximo de oxígeno (en adelante, VO_{2MAX}), incluso con menor tiempo y volumen de entrenamiento (Costa et al., 2018; Leal et al., 2020; Ramos et al., 2015). Aunque aún existen trabajos que no muestran diferencias significativas entre ambos métodos (Poon et al., 2022).

De forma específica, el HIIT mejora significativamente numerosos parámetros de salud cardiometabólica. Se ha observado que una intervención de 16 semanas con 3 entrenamientos semanales de HIIT, consistentes en 4x4 min de pedaleo al 90% de la frecuencia cardíaca máxima (en adelante, FC_{MAX}) intercalados por periodos de recuperación activa de 3 min al 70% de la FC_{MAX} , mejora la concentración de glucosa sanguínea, la presión arterial sistólica (en adelante, PAS), la PAD y el perímetro de cintura en pacientes con MetS respecto a aquellos que no realizan ejercicio físico (Serrablo-Torrejon et al., 2020). Además, existe una tendencia a mejorar el colesterol HDL, pero no existe una diferencia significativamente en los triglicéridos plasmáticos en comparación a no realizar ejercicio físico (Serrablo-Torrejon et al., 2020). Estos beneficios se producen especialmente en personas con sobrepeso y obesidad, dado que muestran una mayor respuesta al estímulo del ejercicio físico (Campbell et al., 2019; Costa et al., 2018).

El mejor control de la glucemia por el HIIT se produce gracias a un incremento de la sensibilidad a la insulina y el consumo de glucosa (Islam & Gillen, 2023). De forma aguda, el ejercicio mejora la sensibilidad a la insulina al promover la translocación de los GLUT-4 de las vesículas citoplasmáticas a la membrana celular, promoviendo la entrada y utilización de la glucosa como sustrato energético. De forma crónica, el ejercicio mejora la sensibilidad a la insulina al incrementar la densidad capilar, la cantidad de GLUT-4 en vesículas citoplasmáticas, las reservas de glucógeno muscular y la cantidad y funcionalidad de las mitocondrias.

Sin embargo, si se comparan los efectos sobre los parámetros cardiometabólicos respecto a los obtenidos a través del MICT, el HIIT se muestra únicamente como una opción que induce respuestas similares o ligeramente superiores. Concretamente, no existen diferencias significativas en la mejora de la sensibilidad a la insulina, y la composición corporal (Campbell et al., 2019), la función vasodilatadora y vasoconstrictora endotelial de miembros inferiores y la función vasodilatadora en miembros superiores (O'Brien et al., 2020), la rigidez arterial central (Way et al., 2019), la PAS (Leal et al., 2020; Way et al., 2019) y el colesterol total, triglicéridos y colesterol LDL (Wood et al., 2019) en adultos de entre 20 y 77 años. Por el contrario, sí se ha reportado que el HIIT mejora de forma significativamente superior la función vasoconstrictora en miembros superiores (O'Brien et al., 2020; Ramos et al., 2015) y la

PAD (Leal et al., 2020; Way et al., 2019) respecto al MICT. Inclusive, podría mejorar más el colesterol HDL (Wood et al., 2019).

2.1.2. Efecto del ejercicio de fuerza

El ejercicio de fuerza es un tipo de ejercicio físico caracterizado por la realización de contracciones musculares breves e intensas, el cual depende principalmente del sistema neuromuscular. El entrenamiento de fuerza mantiene y mejora la cantidad de masa muscular, la fuerza muscular, incrementa la sensibilidad a la insulina, reduce la PAS, la PAD, los triglicéridos y el colesterol LDL y aumenta el colesterol HDL (Donnelly et al., 2009). Así, la mejora de la fuerza muscular o capacidad musculoesquelética tiene un doble propósito: (1) la capacidad musculoesquelética es inversamente proporcional e independiente de otros parámetros al riesgo de mortalidad por cualquier causa y de cáncer, incluso a pesar del CRF, IMC y la edad (Ruiz et al., 2008; Volaklis et al., 2015), y (2) el mantenimiento de la masa libre de grasa previene la disminución de la tasa metabólica basal y del gasto energético total ante el déficit calórico inducido por la dieta o por el ejercicio físico, facilitando la reducción del peso corporal y del tejido adiposo (Donnelly et al., 2009; MacKenzie-Shalders et al., 2020). Además, el entrenamiento de fuerza ha demostrado ser un estímulo efectivo para reducir significativamente la masa grasa, el tejido adiposo visceral, la hemoglobina glicosilada y la PAS independientemente de la restricción calórica (Strasser et al., 2010) en personas con MetS.

2.1.3. Efecto del entrenamiento concurrente

Cada tipo de entrenamiento tiene sus beneficios y mecanismos propios, por lo que el entrenamiento concurrente, es decir, aquel que combina ambos tipos de entrenamiento en una misma sesión o en distintas sesiones, podría ser una opción más eficaz que realizar únicamente uno de ellos. Batrakoulis et al. (2022) llevaron a cabo un análisis sistemático y metaanálisis de la literatura, analizando el efecto reportado en 81 estudios controlados aleatorizados de distintos tipos de ejercicio físico sobre parámetros cardiometabólicos en personas con sobrepeso u obesidad. Se comparó el efecto del MICT, HIIT, entrenamiento de fuerza, entrenamiento concurrente y entrenamiento híbrido. El MICT se define como un entrenamiento aeróbico continuo de 3 a 5 veces por semana, con sesiones de 30-60 minutos de duración al 60-70% FC_{MAX} . El HIIT se define como un entrenamiento aeróbico fraccionado de 2 a 3 días a la semana, con sesiones de 20-30 minutos de duración al 85-95% de la FC_{MAX} . El entrenamiento de fuerza se define como ejercicios de musculación realizados de 2 a 3 veces por semana, con una duración de 30-60 minutos y una intensidad del 70-80% de la carga de una repetición máxima (en adelante, 1RM). El entrenamiento concurrente se define como la combinación del MICT y el entrenamiento de fuerza. El entrenamiento híbrido se define como ejercicios multicomponente intermitentes que involucran tanto el sistema musculoesquelético como el cardiorrespiratorio, realizando de 2 a 3 veces por semana sesiones de 30-45 minutos de duración al 75-85% FC_{MAX} . El entrenamiento concurrente demostró ser el más efectivo

para mejorar el peso corporal, masa grasa, masa libre de grasa, colesterol total, colesterol LDL, insulina en ayunas, resistencia a la insulina, PAS, PAD y la CRF (Batrakoulis et al., 2022). Aunque aún la evidencia no es concluyente, la combinación de entrenamiento de fuerza y HIIT parece ser una opción superior a la combinación de entrenamiento de fuerza y MICT (Da Silva et al., 2020).

A pesar de que el ejercicio físico tiene un efecto agudo proinflamatorio derivado de la producción de mioquinas relacionadas con el daño muscular durante las 48-72h siguientes al ejercicio, éste tiene un efecto antiinflamatorio crónico al disminuir las citoquinas proinflamatorias e incrementar las antiinflamatorias en el largo plazo. La mejora en los biomarcadores inflamatorios está modulada por la mejora en el CRF y el peso corporal, especialmente el porcentaje de grasa, inducida por el ejercicio (Del Rosso et al., 2023). El ejercicio aeróbico mejora la PCR, IL-6, TNF-alfa, interleucina-18, leptina y resistina. El entrenamiento de fuerza mejora la PCR y leptina. Mientras tanto, el entrenamiento concurrente mejora IL-6, TNF-alfa y leptina, aunque más estudios son necesarios para dilucidar el efecto del entrenamiento concurrente y del HIIT (Del Rosso et al., 2023).

2.2. Beneficios del ejercicio físico sobre el riesgo de mortalidad por cualquier causa y comorbilidad

En las sociedades desarrolladas existe una creciente proporción de adultos inactivos (Knaeps et al., 2018). La prevalencia global de inactividad física fue del 27,5% de los adultos en el año 2016, aunque se ha mantenido estable desde el año 2001 (Guthold et al., 2018). Sin embargo, a raíz de las restricciones derivadas de la pandemia de COVID-19, las oportunidades para realizar actividad física, tanto de intensidad ligera como de moderada a vigorosa, se vieron reducidas, incrementando el tiempo de comportamiento sedentario (Dunstan et al., 2021). Además, el sedentarismo tiene una elevada prevalencia también, incluso entre aquellos que realizan suficiente actividad física y cumplen las recomendaciones de la OMS (Knaeps et al., 2018). De esta forma, la inactividad física representa, en orden de importancia, el cuarto factor de riesgo para la mortalidad por cualquier causa tras la hipertensión, fumar y la hiperglucemia (WHO, 2009), y se ha relacionado con un aumento de la prevalencia de la mayoría de enfermedades crónicas no transmisibles (Granata et al., 2018).

El comité consultivo para las recomendaciones de actividad física de Estados Unidos de América concluyó que los individuos que acumulan niveles elevados de comportamiento sedentario, especialmente viendo la televisión, tienen un mayor riesgo de mortalidad por CVD y cualquier causa, así como mayor incidencia de hipertensión, CVD, T2D y cáncer de colon, endometrio y pulmón. Adicionalmente, reportaron una asociación dosis-respuesta entre el comportamiento sedentario y la mortalidad por cualquier causa y por CVD (2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; Saunders et al., 2020). Sin embargo, a pesar de que existe cierta evidencia sobre la asociación positiva dosis-respuesta entre el comportamiento sedentario y el riesgo de mortalidad como para diseñar e implantar políticas de salud pública que tuvieran por objeto reducir el tiempo sedentario total, actualmente no existen recomendaciones

concretas ni un umbral relativo a la reducción del comportamiento sedentario (Dempsey et al., 2020).

Existe una compleja relación entre el sedentarismo y la actividad física, dado que dentro del modelo de 24h, cuando se reduce una se incrementa la otra (Tremblay et al., 2017). Numerosos estudios sugieren la existencia de controversia en relación a si atribuir las mejoras en los factores de riesgo al incremento de la actividad física (inactividad) o a la reducción del comportamiento sedentario (Dempsey et al., 2020). En este contexto, Ekelund et al. (2016) encontraron una asociación dosis-respuesta entre el tiempo sedentario diario total y el riesgo de mortalidad, relación que estaría modulada por los niveles de actividad física de intensidad moderada a vigorosa (del inglés, moderate-to-vigorous physical activity, en adelante MVPA) (*ver Figura 6*). Así, niveles elevados de MVPA disminuirían el riesgo de mortalidad añadido por el sedentarismo. Además, se ha observado que acumular tiempo sedentario de forma continua tiene un mayor impacto negativo en la salud que el mismo tiempo acumulado de tiempo sedentario, pero de forma interrumpida. Interrumpir el comportamiento sedentario resulta en mejoras de la función vascular, la presión arterial, la concentración de glucosa plasmática y el flujo sanguíneo cerebral (Dunstan et al., 2021).

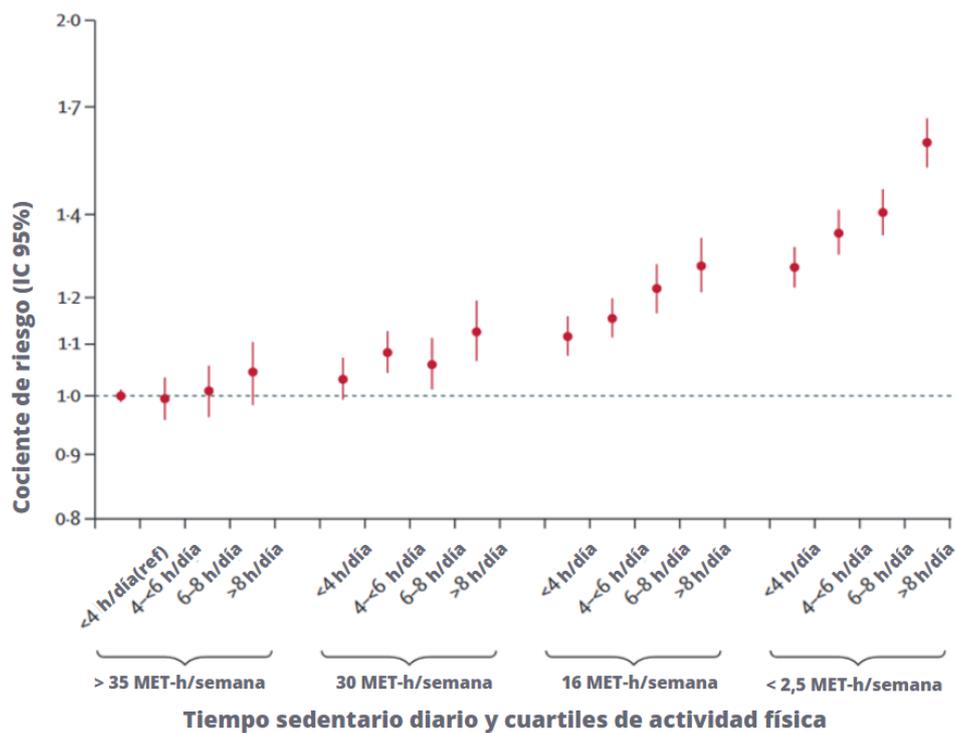


Figura 6. Asociación entre los niveles de MVPA, sedentarismo y riesgo de mortalidad por cualquier causa, adaptado de Ekelund et al. (2016). Abreviaturas: IC, intervalo de confianza; MET, equivalente metabólico de tarea; ref, referencia.

Knaeps et al. (2018) encontraron una asociación independiente entre el comportamiento sedentario, la MVPA y la CRF con el cambio en los factores de riesgo cardiometabólicos. Sin embargo, se observó que el cambio en la CRF parece ser un

mediador en la asociación entre el comportamiento sedentario y la MVPA con el riesgo cardiometabólico y sus componentes individuales. Por tanto, una combinación de la reducción del tiempo sedentario y el incremento de la MVPA, la cual resultaría en una mejora de la CRF, será la combinación óptima para mejorar la salud cardiometabólica y el riesgo de mortalidad por cualquier causa y por CVD (ver Figura 7) (Knaeps et al., 2018).

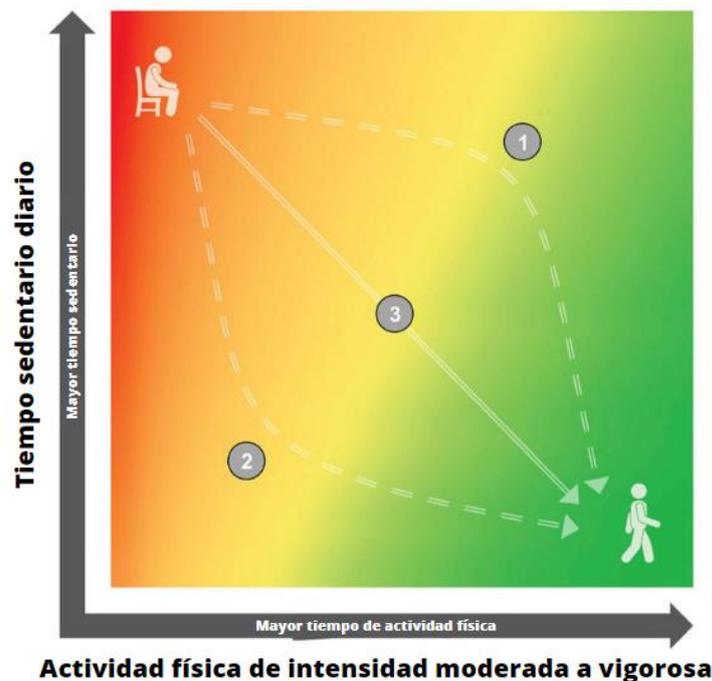


Figura 7. Asociación entre el sedentarismo y la actividad física de intensidad moderada a vigorosa con el riesgo de mortalidad por enfermedad cardiovascular y por cualquier causa, adaptado de Dempsey et al. (2020). El riesgo se reduce desde la zona roja a la verde a través de cambios en (1) actividad física, (2) tiempo sedentario o (3) una combinación de ambas.

La CRF es un predictor de mortalidad más robusto que otros factores de riesgo tradicionales como el tabaco, la hipertensión, la dislipidemia o la T2D, por lo que su utilización de manera conjunta a estos factores de riesgo mejora significativamente el pronóstico (Ross et al., 2016). La CRF ejerce un papel protector del riesgo de mortalidad por CVD y por cualquier causa en personas con sobrepeso y obesidad (Ortega et al., 2018). De hecho, el incremento de 1 MET en la CRF se asocia a una reducción del 15% y 13% en el riesgo de mortalidad por CVD y por cualquier causa, respectivamente (Kodama et al., 2009). Además, también ejerce un papel protector en el riesgo de mortalidad por CVD y por cualquier causa en personas que padecen MetS, siendo un importante modulador en la relación entre obesidad, salud metabólica y mortalidad (Katzmarzyk et al., 2005). Por tanto, una baja CRF es un robusto e independiente predictor de MetS en hombres y mujeres, por lo que los programas de ejercicio físico para la mejora del CRF deberían formar parte de la prevención de las políticas de salud pública (LaMonte et al., 2005).

Ekelund et al. (2019) encontraron una asociación dosis-respuesta entre todas las intensidades de actividad física (incluida la actividad física ligera) y la reducción del riesgo de mortalidad por cualquier causa, argumentando que todo movimiento cuenta. De este modo, un mayor número de pasos diarios se asociarían con un menor riesgo de mortalidad hasta aproximadamente los 7.500 pasos/día, a partir de los cuales no existe un beneficio adicional (Lee et al., 2019).

2.3. Contraindicaciones y riesgos de la práctica de ejercicio físico sobre la salud en personas adultas con síndrome metabólico

Debido a las numerosas condiciones patológicas y factores de riesgo que padecen las personas con MetS, existen algunas circunstancias que pueden suponer una limitación o imposibilidad para la realización del programa de intervención:

1. La obesidad (condición presente en pacientes con MetS) produce generalmente dificultad para el movimiento, lo que se traduce en importantes alteraciones biomecánicas y posturales que pueden incrementar significativamente el riesgo de lesión con la práctica deportiva (Fabris De Souza et al., 2005). Además, supone un incremento en la carga y esfuerzo al que se someten las articulaciones y estructuras blandas, lo que podría propiciar dolor e incapacidad en esta población (Shultz et al., 2014).
2. En el caso de personas con resistencia a la insulina o T2D el ejercicio puede producir episodios hipoglucémicos (Kanaley et al., 2022). Por tanto, se debe disponer de hidratos de carbono de absorción rápida para suministrarlo en caso de necesidad. De la misma forma, en el caso de que los niveles de glucosa plasmática sean superiores a 250 mg/dL y existan cantidades moderadas o elevadas de cuerpos cetónicos en sangre u orina (superiores a 300 mg/dL sin cuerpos cetónicos) no se debería iniciar la práctica deportiva (Kanaley et al., 2022).
3. En el caso de personas con hipertensión, no deberían iniciar o continuar con la práctica de ejercicio físico si alcanzan valores de PAS > 180 mmHg o PAD > 110 mmHg en reposo, o PAS > 220 mmHg o PAD > 105 mmHg durante el ejercicio (Pescatello et al., 2004).

3. Estrategia y planificación: The HANDLE MetS Program

3.1. Objetivos del programa

En base a todo lo expuesto anteriormente, el programa de intervención propuesto tiene los siguientes objetivos:

- Mejorar los factores de riesgo cardiovascular del MetS: obesidad, resistencia a la insulina, hipertensión y dislipidemia.

- Mejorar los componentes de la condición física relacionados con la salud, principalmente la CRF y la capacidad musculoesquelética.
- Mejorar la calidad de vida.
- Promover un estilo de vida activo, reemplazando el sedentarismo por actividad física ligera a lo largo del día y cumpliendo las recomendaciones diarias de MVPA de la OMS.

3.2. Definición del proyecto y justificación científica

Para conseguir estos objetivos, se propone el programa de intervención “*The HANDLE MetS Program (Health And No Disease Left through Exercise)*”, el cual concreta la prescripción de ejercicio físico individualizado para la mejora de la salud cardiovascular y la calidad de vida en adultos con MetS. La prescripción de ejercicio físico se alinea con la estrategia de la escalera de “sentarse menos y moverse más” de Dunstan et al. (2021) (ver Figura 8). Se abordará de forma conjunta: (1) la reducción del tiempo sedentario sentado total y continuo, (2) el fomento la actividad física ligera a través del incremento paulatino de los pasos diarios y (3) la introducción paulatina de MVPA para mejorar la CRF, la capacidad musculoesquelética y alcanzar las recomendaciones de actividad física de la OMS (Lavie et al., 2019).



Figura 8. Estrategia de la escalera de “sentarse menos y moverse más”, adaptado de Dunstan et al. (2021). Abreviatura: CRF, capacidad cardiorrespiratoria.

La reducción del sedentarismo se llevará a cabo a través de una intervención multicomponente que combine (1) la concienciación acerca de la importancia de reducir el sedentarismo y priorizar el transporte activo, (2) el uso de recordatorios para pautar cuándo romper el sedentarismo y (3) la utilización de un escritorio de altura regulable que permita variar la postura sentado y de pie. A pesar de que la evidencia es limitada, la combinación de estas estrategias podría reducir significativamente el tiempo sedentario diario entre 84 y 116 minutos (Shrestha et al., 2018).

De forma complementaria, se prescribirá un incremento progresivo de la meta semanal de pasos diarios. A pesar de que, como se ha mencionado previamente, no se aprecian beneficios adicionales en la reducción del riesgo de mortalidad por cualquier causa a partir de los 7.500 pasos diarios (Lee et al., 2019), las personas que padecen

sobrepeso u obesidad sí pueden verse beneficiadas de un incremento en los pasos diarios. Debido a la contribución en el incremento del gasto energético total, aumentar la actividad física ligera puede facilitar y promover la pérdida de peso en esta población (Smith et al., 2015). Para ello, se empleará una pulsera de monitorización de la actividad (*ver Apartado 3.3.2*) que permita establecer objetivos diarios de pasos y ver en tiempo real la cantidad de pasos realizados.

Para cumplir las recomendaciones de actividad física de la OMS, se prescribe un programa de entrenamiento concurrente de 18 semanas de duración, que consistirá en la alternancia de 2-3 días entrenamiento de fuerza y 2-3 días de HIIT durante la semana, en función del momento de la periodización (*ver Apartado 3.4*). Al inicio del programa el objetivo será alcanzar la recomendación mínima de ejercicio físico, para ir aumentando los niveles de actividad física de manera progresiva (Bull et al., 2020).

3.3. Programa de intervención

3.3.1. Procedimiento y temporalización

En primer lugar, se llevará a cabo la valoración inicial del paciente (*ver Apartado 3.5.1*). Primeramente, se realiza una entrevista inicial que incluye de forma sistematizada toda la información que se debe recoger en primera instancia acerca del cliente necesaria para valorar la idoneidad del programa en el paciente, el establecimiento de objetivos y la prescripción del ejercicio físico en función de éstos. A continuación, se realiza una valoración inicial para establecer los objetivos de entrenamiento y prescribir la carga de entrenamiento. La propuesta de valoración se fundamenta en cuatro pilares: (1) valoración postural, (2) test de movilidad y tono muscular, (3) test de condición física y (4) biomarcadores del MetS.

A partir de esta información, se realiza la programación y prescripción de las cargas de entrenamiento de forma individualizada en función del nivel, posibilidades y objetivos del paciente. La duración del programa de intervención será de 18 semanas, divididas en 4 mesociclos (*ver Apartado 3.4*). A lo largo del programa de intervención se registrarán de forma diaria o semanal distintas variables de interés para la monitorización de la carga de entrenamiento (*ver Apartado 3.5.2*).

Posteriormente, se llevará a cabo una evaluación intermedia de los biomarcadores del MetS en la semana 8 para valorar la eficacia del programa de intervención y poder redirigirlo en caso de que no resulte efectivo (*ver Apartado 3.5.3*).

En último lugar, se llevará a cabo una evaluación final tras concluir el programa de intervención en la que se incluirán test de condición física, biomarcadores del MetS y aquellos aspectos que en la valoración postural y de movilidad fueron reseñados como susceptibles de mejora por el entrenamiento, para evaluar la efectividad del programa de entrenamiento diseñado (*ver Apartado 3.5.3*).

DIAGRAMA DE GANTT - THE HANDLE METS PROGRAM

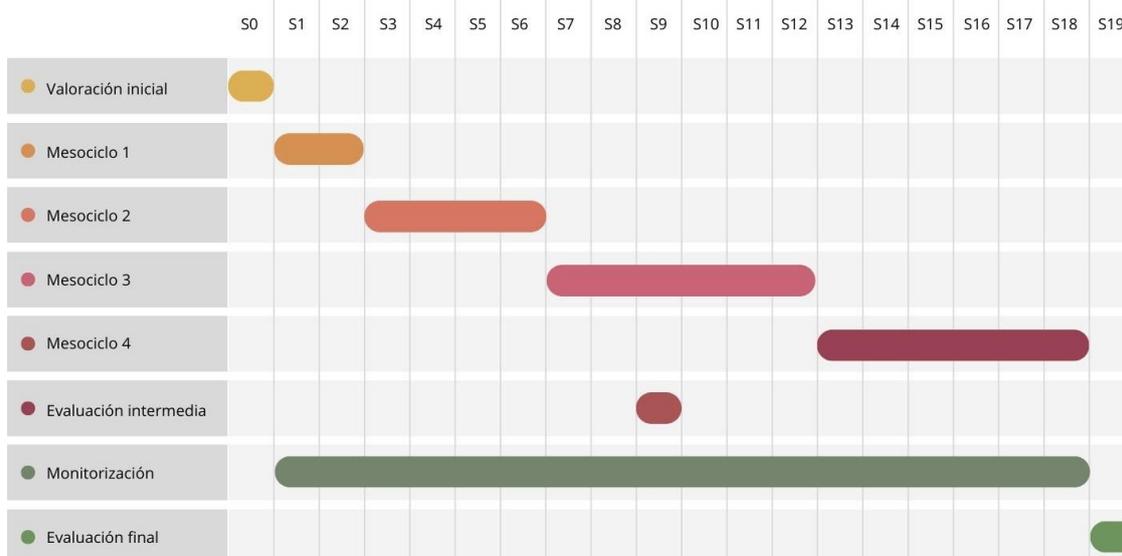


Figura 9. Diagrama de Gantt "The HANDLE MetS Program". Elaboración propia.

3.3.2. Recursos humanos, materiales y tecnológicos

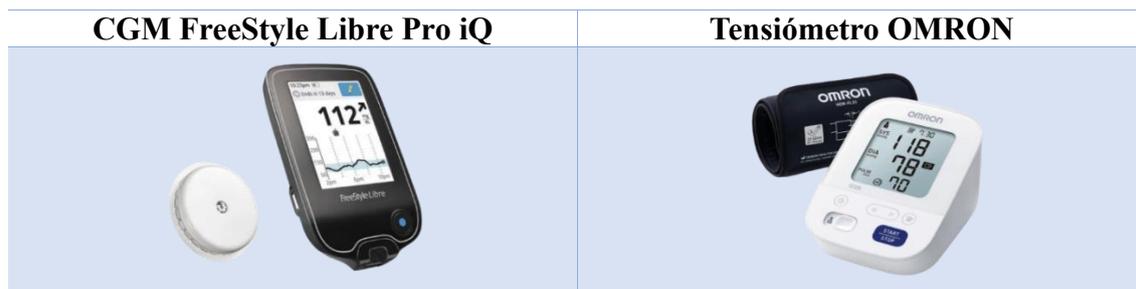
La implementación del programa de intervención "The MetS HANDLE Program" requiere de múltiples recursos materiales y tecnológicos para su desarrollo, sin embargo, como recursos humanos sólo se necesita de un entrenador. Por ello, se llevará a cabo en el Instituto Mixto Universitario Deporte y Salud (en adelante, iMUDS), centro perteneciente a la Universidad de Granada en el que colaboro gracias a la *Beca de Iniciación a la Investigación* del Plan Propio de la misma universidad. Se ubica en el Parque Tecnológico de la Salud, con dirección Av. del Conocimiento, s/n, 18007 Granada. El centro cede las instalaciones para la implementación del programa, estando equipado con todos los recursos materiales y tecnológicos necesarios para su desarrollo. Los recursos materiales requeridos para el desarrollo de las sesiones de ejercicio son:

- Jaula de fuerza.
- Seguros para la barra.
- Barra olímpica.
- Discos olímpicos de 50mm.
- Clips de cuello de resorte para la barra.
- Banco plano.
- Rack de mancuernas completo.
- Plataforma de entrenamiento de halterofilia.
- Hip Thruster.
- Máquina de poleas.
- Tapiz rodante.
- Esterillas.
- Foam roller.
- Pelota de lacrosse o tenis.

Los recursos tecnológicos se utilizarán para la evaluación y monitorización del entrenamiento. Para la evaluación se empleará: (1) el ADR encoder para la estimación del 1RM a partir de la pérdida de velocidad, (2) el dinamómetro de mano digital TKK-5401 para medir la fuerza de prensión manual, (3) la Tanita MC-980MA-N plus para medir la composición corporal, (4) el monitor continuo de la glucosa (del inglés, continuos glucose monitoring, en adelante CGM) FreeStyle Libre Pro iQ para monitorizar la concentración y fluctuación de la glucosa intersticial durante catorce días y (5) el tensiómetro OMRON para medir la PAS y PAD (ver Apartados 3.5.1 y 3.5.3). Para la monitorización se utilizará: (1) una herramienta propia de monitorización de la carga de entrenamiento en Excel, (2) una pulsera de actividad Mi Band 4 para registrar los pasos diarios y horas de sueño, (3) una banda pectoral Polar H10 para monitorizar la frecuencia cardíaca durante los entrenamientos, (4) la app HRV4TRAINING para medir la variabilidad de la frecuencia cardíaca cada mañana y (5) la app Readiness para rellenar diariamente el cuestionario de bienestar y monitorizar la carga interna del cliente (ver Apartado 3.5.2).

Tabla 2. Recursos tecnológicos empleados en “The HANDLE MetS Program”. Elaboración propia.

Herramienta Excel de monitorización	Pulsera de actividad Mi band 4
	
<p>Banda pectoral Polar H10</p>	<p>ADR encoder</p>
	
<p>App Readiness</p>	<p>App HRV4TRAINING</p>
	
<p>Dinamómetro digital TKK-5401</p>	<p>Tanita MC-980MA-N plus</p>
	



3.4. Periodización y diseño del programa de entrenamiento

El programa de intervención “The HANDLE MetS Program” tiene una duración de 18 semanas, divididas en 4 mesociclos. El primer mesociclo será de iniciación y tendrá una duración de 2 semanas (2 microciclos). El segundo mesociclo será de adaptación al entrenamiento y tendrá una duración de 4 semanas (4 microciclos). El tercer y cuarto mesociclo serán de desarrollo de la condición física y tendrán una duración de 6 semanas (6 microciclos) cada uno. Aun así, el programa es extensible y puede prolongarse si el paciente está satisfecho con los resultados obtenidos y desea continuar con el programa. Los objetivos de cada mesociclo son (ver *Tabla 3*):

Tabla 3. *Objetivos de los mesociclos de “The HANDLE MetS Program”. Elaboración propia.*

Mesociclo	Objetivos
1	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarizar al paciente con el entrenamiento de fuerza y adquirir los patrones de movimiento. • Familiarizar al paciente con el HIIT. • Cumplir 2 entrenamientos de fuerza a la semana. • Cumplir 2 entrenamientos HIIT a la semana. • Incrementar un 15% los pasos diarios cada semana respecto a la semana anterior.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar al paciente al entrenamiento de fuerza y afianzar la técnica de los ejercicios básicos. • Adaptar al paciente al HIIT e incrementar paulatinamente la velocidad y/o inclinación. • Conseguir al final del mesociclo completar 3 entrenamientos de fuerza a la semana. • Conseguir al final del mesociclo completar 3 entrenamientos HIIT a la semana. • Incrementar un 15% los pasos diarios cada semana respecto a la semana anterior.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Superar las recomendaciones de la OMS incrementando el volumen e intensidad en el entrenamiento de fuerza y HIIT. • Incrementar un 10% los pasos diarios cada semana.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Alcanzar niveles de intensidad submáximos manteniendo un volumen de entrenamiento moderado. • Incrementar un 10% los pasos diarios cada semana.

Abreviaturas: HIIT, entrenamiento interválico de alta intensidad; OMS, Organización Mundial de la Salud.

El entrenamiento de fuerza sigue la estructura “full body”. Esta estructura es ideal para principiantes, debido a que necesitan un bajo volumen de entrenamiento para progresar y permite trabajar todos los principales grupos musculares en una misma sesión de entrenamiento (Bompa & Buzzichelli, 2018). Además, permite mantener una frecuencia elevada de entrenamiento con al menos 48 horas de recuperación entre sesiones, asegurando la completa recuperación de los grupos musculares involucrados (Bompa & Buzzichelli, 2018). El entrenamiento comienza con un mesociclo de iniciación de dos sesiones semanales, que consta de seis ejercicios con dos series de 12-15 repeticiones por grupo muscular, utilizando aproximadamente el 40% del 1RM para cada ejercicio y descansando un minuto entre series y ejercicios (ACSM, 2021). De forma progresiva, se realizará un aumento de la frecuencia, volumen e intensidad del entrenamiento hasta llegar a realizar tres sesiones semanales de seis ejercicios con 3-4 series de 6-8 repeticiones, utilizando aproximadamente el 80-85% del 1RM y descansando dos minutos entre series y ejercicios (*ver Tablas 4 y 5*) (ACSM, 2021; Batrakoulis et al., 2022). La progresión del entrenamiento se realizará en función de la adaptación y tolerancia del paciente a la carga de entrenamiento de forma diaria a través de la monitorización de la carga de entrenamiento (*ver Apartado 3.5.2*).

Tabla 4. Cronograma “The HANDLE MetS Program”. *Elaboración propia.*

Cronograma “The HANDLE MetS Program”								
Mesociclo	Semana	L	M	X	J	V	S	D
Evaluación	0	V1			V2			
1	1	F	HIIT	DA	F	HIIT	DA	DA
	2	F	HIIT	DA	F	HIIT	DA	DA
2	3	F	HIIT	F	HIIT	F	DA	DA
	4	F	HIIT	F	HIIT	F	DA	DA
	5	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	6	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
3	7	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	8	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	9	F	V3	HIIT	F	HIIT	F	HIIT
	10	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	11	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	12	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
4	13	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	14	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	15	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	16	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	17	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
	18	F	HIIT	F	HIIT	F	HIIT	DA
Evaluación	19	V4			V5			

Abreviaturas: DA, descanso activo; F, entrenamiento de fuerza full body; HIIT, entrenamiento interválico de alta intensidad; V1, visita 1; V2, visita 2; V3, visita 3; V4, visita 4.

Las sesiones de HIIT se realizarán caminando de forma continua en tapiz rodante, minimizando el impacto articular (ACSM, 2021). El entrenamiento comienza con un mesociclo de iniciación de dos sesiones semanales, que consta de tres series de cuatro minutos al 80-85% de la FC_{MAX} intercaladas por cuatro minutos al 60-65% de la FC_{MAX} (Ramos et al., 2015). De forma progresiva, se realizará un aumento de la frecuencia, volumen e intensidad del entrenamiento hasta llegar a realizar tres sesiones semanales, consistentes en cuatro series de cuatro minutos al 90-95% de la FC_{MAX} intercaladas por tres minutos al 70-75% de la FC_{MAX} (ver Tablas 4 y 5) (ACSM, 2021; Batrakoulis et al., 2022).

En los días de descanso activo no se prescribe ejercicio físico, pero se instará al paciente a cumplir la meta de pasos diarios propuesta para esa semana y a realizar actividad física de intensidad ligera o superior como forma de recreación y ocio saludable en su tiempo libre (Bull et al., 2020).

Tabla 5. Periodización de los entrenamientos en “The HANDLE MetS Program”. Elaboración propia.

Periodización “The HANDLE MetS Program”			
Mesociclo	Semana	Full Body	HIIT
1	1	2x12-15 40%1RM 1’D	3X4’/4’ 80-85/60-65% FC_{MAX}
	2	2x12-15 40%1RM 1’D	3X4’/4’ 80-85/60-65% FC_{MAX}
2	3	3x12-15 40%1RM 1’D	4X4’/4’ 80-85/60-65% FC_{MAX}
	4	3x12-15 40%1RM 1’D	4X4’/3’ 80-85/60-65% FC_{MAX}
	5	3x10-12 50%1RM 1’D	4X4’/3’ 85-90/65-70% FC_{MAX}
	6	3x10-12 60%1RM 1’D	4X4’/3’ 90-95/65-70% FC_{MAX}
3	7	3x10-12 60%1RM 1’D	4X4’/3’ 80-85/65-70% FC_{MAX}
	8	3x10-12 65%1RM 1’D	4X4’/3’ 80-85/70-75% FC_{MAX}
	9	3x10-12 70%1RM 2’D	4X4’/3’ 85-90/70-75% FC_{MAX}
	10	3x10-12 75%1RM 2’D	4X4’/3’ 85-90/70-75% FC_{MAX}
	11	3x10-12 75%1RM 2’D	4X4’/3’ 85-90/70-75% FC_{MAX}
	12	4x10-12 75%1RM 2’D	4X4’/3’ 90-95/70-75% FC_{MAX}
4	13	2x8-10 75%1RM 2’D	4X4’/3’ 80-85/70-75% FC_{MAX}
	14	3x8-10 80%1RM 2’D	4X4’/3’ 80-85/70-75% FC_{MAX}
	15	2x6-8 85%1RM 2’D	4X4’/3’ 85-90/70-75% FC_{MAX}
	16	3x6-8 85%1RM 2’D	4X4’/3’ 85-90/70-75% FC_{MAX}
	17	2x4-6 90%1RM 2’D	4X4’/3’ 85-90/70-75% FC_{MAX}
	18	4x6-8 85%1RM 2’D	4X4’/3’ 90-95/70-75% FC_{MAX}

Abreviaturas: %1RM, porcentaje de la carga sobre la repetición máxima; % FC_{MAX} , porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima; D, descanso; HIIT, entrenamiento interválico de alta intensidad.

Las sesiones de entrenamiento constan de una primera parte de calentamiento y la parte principal, en la que se trabajará fuerza o HIIT en función del día. No se incluye vuelta a la calma, ya que actualmente no existe evidencia de que (1) reduzca el daño muscular, (2) mejore el rendimiento en sesiones sucesivas cuando estén separadas por al menos 4 h y (3) reduzca el riesgo de lesión en el largo plazo (Van Hooren & Peake, 2018).

El calentamiento previo a todas las sesiones, tanto de fuerza como de HIIT, dura entre 12-15 minutos y consta de tres partes (Bompa & Buzzichelli, 2018):

1. **Liberación miofascial (3-5 min):** se realizarán masajes de liberación miofascial con foam roller y pelota en los principales grupos musculares, durante al menos 90 s en cada grupo muscular, para reducir la rigidez y dolor muscular y mejorar el rango de movimiento articular de forma aguda de cara a la parte principal de la sesión (Konrad et al., 2022).
2. **Movilidad articular (8-10 min):** se realizará el protocolo de Hauschildt et al. (2014), que trabaja de forma combinada la movilidad articular y activación de los músculos estabilizadores mediante estiramientos dinámicos y patrones de movimiento básicos.
3. **Activación (2 min):** se realizarán ejercicios con el peso corporal para solicitar de forma progresiva la musculatura implicada en la parte principal de la sesión (Bompa & Buzzichelli, 2018).

A continuación, se muestra un ejemplo de microciclo de la semana 4 desarrollando sus sesiones correspondientes (*ver Tabla 6*). Como se ha mencionado, el volumen y la intensidad prescritas son orientativas, deberán concretarse en función de la evolución y la tolerancia a la carga del paciente.

Tabla 6. Ejemplo de sesiones de entrenamiento de fuerza del microciclo 4. Elaboración propia.

Entrenamientos de fuerza del microciclo 4		
Criterios FITT-VP	6 ejercicios de 3x12-15 al 40% 1RM con 1'D	
Lunes	Miércoles	Viernes
1. Sentadilla trasera	1. Jalón al pecho	1. Hip thrust
2. Press de banca	2. Press militar mancuernas	2. Press de banca
3. Remo con barra	3. Hip thrust	3. Remo con barra
4. Peso muerto	4. Aperturas mancuernas	4. Peso muerto
5. Press militar mancuernas	5. Remo en polea	5. Press de banca
6. Pullover con polea	6. Sentadilla trasera	6. Jalón al pecho

Abreviaturas: 1RM, porcentaje de la carga sobre la repetición máxima; Criterios FITT-VP, frecuencia, intensidad, tiempo (duración), tipo, volumen y progresión; D, descanso entre series y ejercicios.

3.5. Evaluación del programa de intervención

3.5.1. Entrevista y evaluación inicial

Para la individualización del programa de entrenamiento en el establecimiento de objetivos, la prescripción de la carga y la valoración de posibles riesgos, es necesario la realización de una entrevista inicial con el paciente, una evaluación del estado de salud y una exhaustiva valoración de su movilidad articular, funcionalidad motora y condición física (ACSM, 2021; Bushman & Battista, 2015; Coburn, 2016; Schoenfeld & Snarr,

2022). Todas estas pruebas se dividen en dos visitas iniciales del paciente y se encuentran sistematizadas en la herramienta de Excel, facilitando su implementación.

En la primera visita el lunes previo al comienzo del programa de intervención, se le realizará la entrevista inicial al paciente, seguido de la medición de la presión arterial, la antropometría, la composición corporal y la colocación del CGM. De forma complementaria, se le requerirá al paciente que contacte con su médico de cabecera para su autorización en el inicio de un programa de ejercicio físico y la realización de un análisis de sangre, para la evaluación del perfil lipídico (por ejemplo, triglicéridos, colesterol LDL y colesterol HDL), la glucemia basal y la hemoglobina glicosilada.

1. La entrevista inicial incluye de forma sistematizada toda la información que se debe recoger en primera instancia acerca del paciente necesaria para valorar la idoneidad del programa, el establecimiento de objetivos y la prescripción del ejercicio físico en función de éstos. Esta abarca datos personales y sociodemográficos, de disponibilidad horaria y de recursos, datos antropométricos, de historial de salud y estilo de vida (a través de los cuestionarios validados HHQ, PAR-Q+ e IPAQ), antecedentes deportivos, historial de lesiones y molestias recurrentes, objetivos y expectativas y datos sobre el ciclo menstrual en el caso de las mujeres (*ver Tabla 7*) (Bushman & Battista, 2015; Coburn, 2016; Schoenfeld & Snarr, 2022).
2. Para evaluar la presión arterial, se utilizará el tensiómetro OMRON (*ver Tabla 2*) y se empleará el protocolo propuesto por Williams et al. (2018). Durante la prueba, el paciente deberá estar sentado en una posición cómoda, descansando durante al menos 5 minutos antes de medir la presión arterial, por lo que se aprovechará para realizarlo tras la entrevista inicial. Se realizarán 3 mediciones en el brazo izquierdo, con un intervalo de descanso de 1 a 2 minutos entre cada evaluación. Si la primera y segunda medición difieren en más de 10 mmHg, se realizarán mediciones adicionales. La presión arterial registrada será el promedio de las dos últimas mediciones. Se utilizará un manguito estándar (12-13 cm de ancho y 35 cm de largo) para la mayoría de los pacientes, aunque se contarán con manguitos de diferentes tamaños para otros tipos de pacientes. El manguito se colocará a la altura del corazón y es importante mantener el brazo relajado para evitar aumentos en la presión arterial.
3. Para la evaluación de la antropometría, se pesará y medirá al paciente para calcular el IMC, como el peso en kilogramos dividido la altura en metros al cuadrado (Coburn, 2016). A continuación, se le tomará el perímetro de cintura y de cadera con la cinta métrica CESCORF, realizando dos medidas no consecutivas de cada una. En el caso de que exista una diferencia superior al 1% entre ambas medidas, se realizará una tercera medida no consecutiva. El perímetro de cintura será medido en la circunferencia más estrecha, aproximadamente el punto medio entre la décima costilla y la parte superior de la cresta ilíaca, perpendicular al eje longitudinal del tronco (Bushman & Battista, 2015; Coburn, 2016). El perímetro de cadera será medido en la circunferencia máxima alrededor de los glúteos (a nivel de la sínfisis pubiana), perpendicular al eje longitudinal del tronco (Bushman & Battista, 2015; Coburn, 2016). Finalmente, se realizará un análisis de la composición corporal a través del porcentaje de grasa corporal por bioimpedancia con la Tanita MC-980MA-N plus (*ver Tabla 2*).

- Para la evaluación de la concentración de la glucosa plasmática y su control, se colocará el CGM FreeStyle Libre Pro iQ durante 14 días al paciente (Price et al., 2023).

Tabla 7. Entrevista inicial en la herramienta de evaluación y control de la carga de Excel. Elaboración propia.

DATOS PERSONALES Y SOCIODEMOGRÁFICOS			
Nombre y apellidos		Fecha entrevista	
Sexo		Fecha de nacimiento	
Residencia habitual		Teléfono de contacto	
Estado civil		Correo electrónico	
Familiares a su cargo		Situación laboral	
Ocupación laboral		Horario laboral	

DISPONIBILIDAD HORARIA Y DE RECURSOS						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Instalaciones disponibles						
Material y equipamiento disponible						

DATOS ANTROPOMÉTRICOS, HISTORIAL DE SALUD Y ESTILO DE VIDA			
Peso corporal (kg)		Talla (m)	
IMC	#/DIV/DI	Tiempo al día sedentario	
Tipo de alimentación		Experiencia con dietas	
Calidad del sueño		Regularidad del sueño	
Resultado PAR-Q+		Resultado IPAQ	
Resultados HHQ y necesidad de derivación			

ANTECEDENTES DEPORTIVOS	
Años de práctica deportiva	Nivel alcanzado
Modalidades deportivas practicadas	
Gustos y preferencias deportivas	

HISTORIAL DE LESIONES Y MOLESTIAS RECURRENTE	
Lesiones previas y tratamiento recibido	
Dolores y molestias comunes	

OBJETIVOS Y EXPECTATIVAS	
Objetivos propuestos y grado de compromiso	

CICLO MENSTRUAL (SOLO MUJERES)	
Registro del CM	Estabilidad y duración
Control del CM	Dolor e incapacidad

Abreviaturas: CM, ciclo menstrual; IMC, índice de masa corporal.

En la segunda visita el jueves previo al comienzo del programa de intervención, se le realizará una valoración completa del estado físico del paciente, compuesta por:

- Valoración postural:** se realizará un análisis exhaustivo de la morfología y funcionalidad de todas las articulaciones junto con un análisis general de plomada para detectar posibles patologías o factores de riesgo lesionales (ver Tabla 8)

(ACSM, 2021; Bushman & Battista, 2015; Coburn, 2016; Schoenfeld & Snarr, 2022).

2. **Test de movilidad y tono muscular:** incluye una serie de test para valorar la funcionalidad de los principales grupos musculares (*ver Tabla 9*) (K. (Klaus) Buckup, 2016; Wieben, 2015).
3. **Test de condición física:** incluye los test validados para medir los componentes de la condición física relacionados con la salud y otros test que sirven de referencia como punto de partida (*ver Tabla 10*). Actualmente, no existe una batería de test de campo válidos, fiables y seguros basados en la evidencia para la población adulta. La Universidad de Cádiz está desarrollando la batería ADULT-FIT para adaptar en la población adulta la batería de test ALHPA-fitness, orientada a medir los componentes de la condición física relacionados con la salud en niños y adolescentes (Cuenca-García et al., 2022). Los análisis de fiabilidad (Cuenca-García et al., 2022) y validez de criterio (Castro-Piñero et al., 2021) muestran que los test con fuerte evidencia para su utilización son el test de ida y vuelta de 20 m (Course Navette) para la capacidad cardiorrespiratoria y el test de fuerza de prensión manual para la capacidad musculoesquelética.

El test de fuerza de prensión manual consiste en realizar la máxima fuerza concéntrica apretando un dinamómetro manual. Se realiza en posición anatómica con los brazos en ligera abducción de 30°, codos completamente extendidos y no se puede mover el cuerpo para tratar de realizar más fuerza. Se realizan dos mediciones no seguidas con cada brazo, descansando un minuto entre mediciones (Castro-Piñero et al., 2021).

El test de ida y vuelta de 20 m consiste en una prueba incremental hasta el agotamiento en la que el participante corre de un punto a otro separados por 20 m de distancia, siguiendo el ritmo de unas señales de audio grabadas. Estas señales indican cuándo debe correr y cuándo debe realizar cambios de dirección. A medida que avanza el test, las señales de audio se emiten con intervalos de tiempo cada vez más cortos, lo que requiere que el participante cada vez se desplace más rápido, hasta que llega un punto en el que no puede sostener la intensidad del período y no llega al otro punto cuando suena la señal acústica (Castro-Piñero et al., 2021). Se valorará la frecuencia cardíaca pico alcanzada durante el test de ida y vuelta de 20 m y la estimación del VO_{2MAX} en función del periodo al que llegue para la posterior prescripción de la carga de entrenamiento en el HIIT. Además, se valorará la recuperación de la frecuencia cardíaca tras el cese del esfuerzo, dado que se trata de un robusto e independiente predictor de mortalidad y una recuperación menor a 18 pulsaciones por minuto un minuto después del cese de la actividad es una contraindicación para la realización de esfuerzos submáximos (Cole et al., 1999; Watanabe et al., 2001).

Tabla 8. Valoración postural en la herramienta de evaluación y control de la carga de Excel. Elaboración propia.

VALORACIÓN POSTURAL					
Zona corporal	Aspectos a observar		Positivo	Miembro IZQ/DCHO	Observaciones
Pies	Dedos	En garra			
		Martillo			
		Juanete			
	Arco longitudinal	Sastre			
		Pie plano			
	Arco transversal	Pie cavo			
Pie	Tiende a echar el peso hacia delante				
	Pronador				
	Supinador				
Zonas con hiperqueratosis	*Dónde*				
Rodillas	Observación frontal	Valgo			
		Varo			
	Observación lateral	Rótulas vizcas			
		Hiperextensión			
Pelvis	Observación frontal	Hiperflexión			
		Una cadera más alta que la otra			
	Observación lateral	Inclinación pélvica			
Columna vertebral	Columna lumbar	Retroversión pélvica			
		Anteversión pélvica			
		Hiperlordosis lumbar			
		Rectificación de la lordosis lumbar			
	Columna dorsal	Inversión de la columna lumbar			
		Escoliosis lumbar			
		Hipercifosis dorsal			
	Columna cervical	Rectificación dorsal			
		Escoliosis dorsal			
Rectificación de la lordosis cervical					
Glenohumeral	Escápulas	Hiperlordosis cervical			
		Rectificación de la lordosis cervical			
		Una más alta			
		Separadas de la línea media			
		Aproximadas			
	Hombros	Aladas			
		Campaneo interno			
		Campaneo externo			
		Uno más elevado			
		Rotación interna			
Rotación externa					
Hombros hacia delante					
Hombros hacia atrás					

Tabla 9. Test de movilidad articular; longitud y tono muscular en la herramienta de evaluación y control de la carga de Excel. Elaboración propia.

TESTS DE MOVILIDAD ARTICULAR, LONGITUD Y TONO MUSCULAR				
Zona corporal	Aspectos a observar		Positivo	Miembro IZQ/DCHO
Tobillo	Sóleo	Dorsiflexión <20º (flexión rodilla)		
	Gastrocnemio y delgado plantar	Dorsiflexión <10º (extensión rodilla)		
Rodilla	Bíceps crural y poplíteo	No se extiende por completo la rodilla		
	Single leg squat Test	Vargo o valgo de rodilla		
Cadera	Flexores de la cadera (Test de Thomas modificado)	Psoas-iliaco: lumbar no apoya, muslo no toca		
		Recto anterior: muslo no toca y/o extensión de rodilla		
		Sartorio: aducción cadera		
	Extensores de la cadera (Hamstring Test)	Tensor de la fascia lata: abducción cadera		
	Extensores de la cadera (Test de Uhber)	Flexión de cadera <80º y/o lumbar no apoya		
	Tensor de la fascia lata y banda iliotibial (Test de Ober)	No extensión de cadera y/o inestabilidad		
Espalda y cuello	Abductores de cadera (Test de Tredelemburg)	Acortado si la pierna no cae a aducción		
	Extensión del tronco	Caderas no alineadas y/o inestabilidad		
	Flexión del tronco	No extiende el tronco tumbado sin bascular la pelvis		
Hombros	Inclinación lateral del tronco	No mantiene la posición sin flexionar la cadera		
	Pectoral mayor: fibras inferiores	No mantiene la pelvis nivelada		
	Pectoral mayor: fibras superiores	Brazo no toca suelo tumbado con abducción >90º		
	Pectoral menor	Brazo no toca suelo tumbado con abducción 90º		
	Redondo mayor, dorsal ancho y romboides	Tumbado relajado hombros no tocan el suelo		
	Rotadores internos	Flexión de hombro <180º y/o compensa columna		
Rotadores externos	Antebrazo no toca suelo en rotación externa			
		Antebrazo forma >20º con el suelo en rotación interna		

Tabla 10. Evaluación de la condición física y la salud en la herramienta de evaluación y control de la carga de Excel. Elaboración propia.

Evaluación de la condición física y la salud			
Componente de la condición física	Test	Resultado	Comparación con los valores de referencia
Capacidad cardiorrespiratoria	Fcreposo y FCrecuperación		
	Test ida y vuelta de 20m (Course-Navette)		
Capacidad músculo-esquelética	Fuerza de prensión manual		
	1RM en sentadilla		
	1RM en press de banca		
Antropometría y Composición corporal	1RM en peso muerto		
	Índice de masa corporal (IMC)		
	Perímetro de cintura		
	Relación perímetro de cintura y cadera		
Parámetros bioquímicos	% de grasa corporal (Tanita)		
	Presión arterial		
	Monitorización continua de la glucosa (CGM)		
	Hemoglobina glicosilada		
	Triglicéridos		
	Colesterol LDL		
	Colesterol HDL		

Abreviaturas: 1RM, porcentaje de la carga sobre la repetición máxima; FC, frecuencia cardíaca; HDL, lipoproteínas de elevada densidad; LDL, lipoproteínas de baja densidad.

3.5.2. Monitorización del entrenamiento

La carga de entrenamiento es un concepto complejo que incluye tanto la descripción del estímulo estresante que altera la homeostasis celular (carga externa) como la respuesta adaptativa del organismo a este estímulo (carga interna) (Bourdon et al., 2017). Por lo tanto, es importante tener en cuenta que una misma carga externa, es decir, una sesión de entrenamiento, puede provocar una respuesta interna o carga interna diferente en cada individuo. Por esta razón, es necesario monitorizar ambas dimensiones para conocer si el paciente asume las cargas de entrenamiento y progresa y para prescribir de manera adecuada la carga de entrenamiento (Bourdon et al., 2017; Impellizzeri et al., 2019). La monitorización diaria de la carga de entrenamiento se realizará a través del RPE-Sesión como unidad arbitraria. Además, se emplearán el cuestionario de bienestar y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (del inglés, heart rate variability, en adelante HRV) como indicadores de la carga interna y la tolerancia a la carga.

El RPE-Sesión consiste en la multiplicación de la duración en minutos del esfuerzo o sesión de entrenamiento por la escala de esfuerzo percibido (del inglés, rate of perceived exertion, en adelante RPE) (en escala del 0 al 10) global de la sesión (ver *Tabla 11*), tomado 30 minutos tras la finalización de la misma (Foster et al., 2001; Haddad et al., 2017). Se trata de una unidad arbitraria válida, fiable, sencilla y cómoda para su utilización tanto en la cuantificación de la carga de sesiones de fuerza como de resistencia, pero no deben mezclarse entre ambas (Haddad et al., 2017).

El cuestionario de bienestar mide cuatro dimensiones con una escala tipo Likert del 1 al 5: calidad de sueño, dolor muscular, estrés y fatiga (ver *Tabla 12*) (Rossi et al., 2022). El paciente rellenará cada mañana el cuestionario a través de la app *Readiness*, que permite almacenar y analizar las puntuaciones durante el programa de intervención (ver *Tabla 2*). Además, se incluirá el número de horas de sueño, registrado por la pulsera de actividad Mi Band 4 con una validez y fiabilidad adecuadas para su utilización en la práctica diaria (ver *Tabla 2*) (Concheiro-Moscoso et al., 2022).

Tabla 11. Escala de esfuerzo percibido modificada de Borg (0-10), adaptada de Borg (1982).

ESCALA DE ESFUERZO PERCIBIDO DE BORG (0-10)		
0	Extremadamente fácil	
1		
2	Fácil	
3		
4	Un poco fácil	
5		
6	Un poco duro	
7		
8	Duro	
9		
10	Extremadamente duro	

Tabla 12. Cuestionario de bienestar modificado. Elaboración propia.

	1	2	3	4	5
Calidad del sueño	Muy mal	Mal	Regular	Bien	Muy bien
Dolor muscular	Dolor máximo	Dolor alto	Dolor medio	Poco dolor	Nada de dolor
Estrés	Muy estresado	Estrés medio-alto	Estrés medio	Estrés bajo	Nada estresado
Fatiga	Muy fatigado	Fatiga media-alta	Fatiga media	Poca fatiga	Nada fatigado
Horas de sueño de esta noche					

La HRV es un buen indicador del equilibrio simpatovagal, es decir, de la activación del sistema nervioso parasimpático, lo que muestra el estado de estrés o relajación del organismo y su tolerancia a la carga de entrenamiento (Borresen & Lambert, 2008; Piatrikova et al., 2021; Vesterinen et al., 2016). Su parámetro más estable es la raíz cuadrada de la media de las sucesivas diferencias entre los intervalos R-R adyacentes al cuadrado en milisegundos. La HRV está determinada por la frecuencia cardíaca, ya que a mayor frecuencia cardíaca menor será la variación en el tiempo transcurrido entre latidos, debido a que se incrementa en gran medida la densidad de latidos por minuto. Por tanto, una mayor HRV está asociada también a una menor frecuencia cardíaca, teniendo un mayor valor predictivo del estado del organismo (Borresen & Lambert, 2008). Plews et al. (2017) demostraron que existe una correlación casi perfecta entre la HRV medida con un electrocardiograma ambulatorio, considerado el *gold standard*, y la fotopletismografía. Ésta última técnica es la usada por las bandas pectorales y se basa en la asunción de que los glóbulos rojos absorben el espectro verde de la luz visible y reflejan el rojo en función del volumen de estos, de forma que emitiendo una luz infrarroja o LED se puede estimar el cambio en el volumen sanguíneo, correspondiente a las pulsaciones, por el cambio en la absorción y reflejo de luz. Holmes et al. (2020) y Stone et al. (2021) reportaron que la fotopletismografía realizada con la app HRV4TRAINIG, especialmente cuando se utilizaba una banda pectoral, era muy fiable, válida y precisa respecto al electrocardiograma ambulatorio.

Por tanto, se medirá la HRV diariamente a través de la app HRV4TRINIG y la banda Polar H10 (*ver Tabla 2*). Se realizará siempre a la misma hora del día y en condiciones estándar, esto es, recién levantado tras ir al baño, sentado o tumbado (realizarlo siempre bajo el mismo criterio) en un ambiente tranquilo y calmado. Se registrará en el Excel elaborado para la monitorización de la carga, de forma que se obtenga una línea basal de la HRV normal y habitual para cada paciente. Así, valores agudos por debajo de la línea basal podrían indicar buen descanso y predisposición para el ejercicio físico de mayor intensidad, mientras que valores agudos por encima de la línea basal podrían indicar un mal descanso, altos niveles de estrés y baja predisposición o tolerancia a la carga. De igual forma, valores crónicos por encima de la línea basal podrían corresponder a un incremento significativo de la frecuencia cardíaca de reposo, lo que indicaría una reducción de la capacidad cardiorrespiratoria, mientras que valores crónicos por debajo de la línea basal podrían corresponder a una mejora significativa de la capacidad cardiorrespiratoria. (Piatrikova et al., 2021; Vesterinen et al., 2016).

Además, se monitorizará la frecuencia cardíaca durante los entrenamientos a través de la banda Polar H10, para valorar la progresión del paciente ante mismas cargas y adaptar la intensidad del HIIT a la frecuencia cardíaca requerida.

El entrenamiento basado en la velocidad es una metodología de prescripción y monitorización de las cargas a través de la velocidad de ejecución en el entrenamiento de fuerza (Weakley et al., 2021). La premisa básica del entrenamiento basado en la velocidad es que cada repetición debe realizarse a la máxima velocidad voluntaria posible, de forma que la pérdida en la velocidad en cada repetición se deba a la fatiga muscular y nerviosa, lo que permite establecer una asociación directa entre la velocidad de ejecución y las repeticiones en reserva (Weakley et al., 2021). Los transductores lineales son los dispositivos con mayor validez y fiabilidad para medir la velocidad de ejecución. (Pérez-Castilla et al., 2019). Pérez-Castilla et al. (2021) demostraron que el ADR encoder es una opción económica y accesible para la medición de la velocidad de ejecución, teniendo una validez y fiabilidad aceptable respecto al encoder T-Force, considerado el *gold standard*, pero actualmente se encuentra descatalogado.

Se empleará diariamente el ADR encoder y el Excel de monitorización para la estimación del 1RM en sentadilla, press de banca y peso muerto (*ver Tabla 2*). Garcia-Ramos & Jaric (2018) y Pérez-Castilla et al. (2021) han validado el método de 2 cargas para la estimación del 1RM diario y la prescripción de la intensidad del entrenamiento. El 1RM se estima a partir de una regresión lineal entre dos puntos distantes, uno a cargas bajas (40-50% del 1RM) y otro a altas cargas (80-90% del 1RM). Se realizan 1-2 repeticiones con la carga alta y 4-5 repeticiones con la carga baja a modo de series de aproximación, dejando dos minutos de descanso entre ambas series. A partir de la velocidad máxima o pico alcanzada en la serie pesada y la liviana, se realiza una regresión lineal y se estima la carga con la que se desplazaría la barra a la velocidad máxima del 1RM, estandarizada para cada ejercicio. Por ejemplo, la velocidad pico realizando press de banca con el 100% del 1RM es 0,17 m/s Pérez-Castilla et al. (2021).

3.5.3. Evaluación intermedia y final

Para valorar la eficacia del programa de intervención en la mejora de los parámetros cardiometabólicos del MetS, se llevarán a cabo dos evaluaciones. La primera se realizará a mitad del programa de intervención en la visita 3, el lunes del microciclo 9, (*ver Tabla 4*). La segunda se llevará a cabo al finalizar el programa en la visita 4 y 5, el lunes y jueves de la semana siguiente de la finalización del programa de intervención respectivamente, para dejar suficiente tiempo de recuperación y asimilación de la elevada carga de entrenamiento al final del programa (*ver Tabla 4*) (ACSM, 2021).

Las visitas 3 y 4 tendrán la misma estructura y pruebas. En primer lugar, se medirá la presión arterial en reposo, la antropometría a través del IMC y los perímetros de cintura y cadera y la composición corporal a través de la bioimpedancia, con los mismos procedimientos mencionados anteriormente (*ver Apartado 3.5.1*). En segundo lugar, se colocará el CGM. Por último, se solicitará que el paciente se realice una analítica para la

evaluación de la hemoglobina glicosilada, triglicéridos, colesterol LDL y colesterol HDL (ver Tabla 13). La visita 5 tendrá la misma estructura que la visita 2, salvo por que únicamente se realizarán los test de condición física: fuerza de prensión manual y test de ida y vuelta de 20 m y se evaluará la FC basal y de recuperación (ver Tabla 13).

Tabla 13. Temporalización de los parámetros evaluados. Elaboración propia.

Temporalización de los parámetros evaluados				
Parámetro evaluado	Evaluación inicial	Evaluación intermedia	Evaluación final	Monitorización
Valoración postural	X			
Movilidad articular	X			
Fuerza de prensión manual	X		X	
1RM sentadilla				X
1RM peso muerto				X
1RM press de banca				X
FCreposito y FCrecuperación	X		X	
Test de ida y vuelta de 20 m	X		X	
Variabilidad cardíaca				X
RPE-Sesión				X
Pasos diarios				X
Índice de masa corporal	X	X	X	
Perímetro de cintura	X	X	X	
Perímetro de cadera	X	X	X	
Porcentaje de grasa corporal	X	X	X	
Presión arterial	X	X	X	
CGM	X	X	X	
Hemoglobina glicosilada	X	X	X	
Triglicéridos	X	X	X	
Colesterol LDL	X	X	X	
Colesterol HDL	X	X	X	

Abreviaturas: 1RM, repetición máxima; CGM, monitorización continua de la glucosa; FC, frecuencia cardíaca; HDL, lipoproteínas de elevada densidad; LDL, lipoproteínas de baja densidad; RPE, escala de esfuerzo percibido.

3.4. Análisis DAFO

El análisis DAFO (Debilidades-Amenazas-Fortalezas-Oportunidades) se trata de una metodología enfocada en el análisis de impactos de fuerzas desde una doble perspectiva, de forma temporal y de forma espacial. Por un lado, investiga y expone el balance entre las fortalezas y debilidades intrínsecas a la estrategia a desarrollar en el presente. Por otro lado, analiza y expone el balance entre las oportunidades y amenazas del exterior en el futuro (Cabello & Puga, 2021).

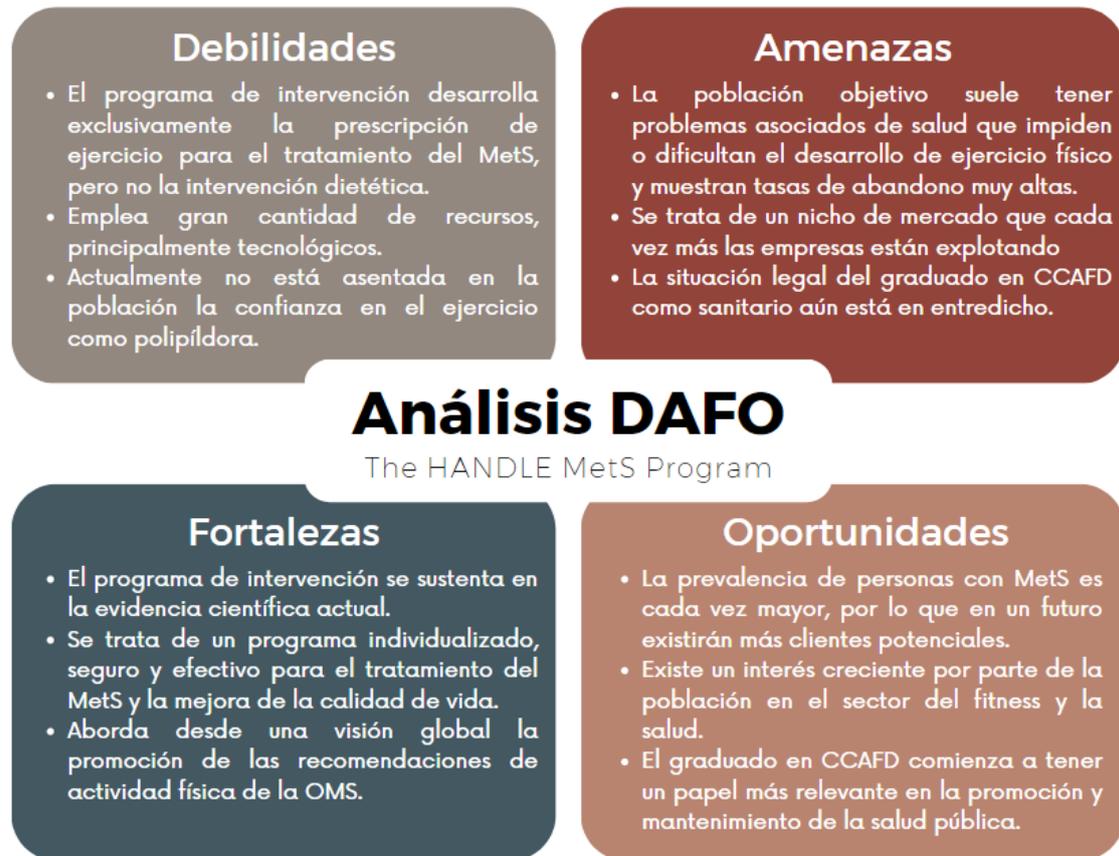


Figura 17. Análisis DAFO de “The HANDLE MetS Program”. Elaboración propia. Abreviaturas: CCAFD, ciencias de la actividad física y el deporte; MetS, síndrome metabólico; OMS, Organización Mundial de la Salud.

3.5. Personas, entidades u organizaciones que pueden contribuir favorablemente al desarrollo del programa o dificultarlo

En las organizaciones y proyectos existen numerosas partes interesadas que afectan al desarrollo y funcionamiento del mismo (Cabello & Puga, 2021). En el caso de “The HANDLE MetS Program” existen diversos actores que puede contribuir favorablemente a su desarrollo:

- Debido al carácter multidisciplinar del tratamiento del MetS, el trabajo en equipo con profesionales del sector sanitario (por ejemplo, médicos, fisioterapeutas y nutricionistas) puede favorecer y enriquecer los resultados y seguridad del programa de intervención.
- Otros centros de entrenamiento personal pueden interesarse por el programa de intervención, publicitando, financiando y ejecutando las distintas fases del mismo.
- El Instituto Mixto Universitario Deporte y Salud (en adelante, iMUDS), centro perteneciente a la Universidad de Granada (en adelante, UGR), posibilita la ejecución del programa de intervención al ceder las instalaciones y recursos materiales y tecnológicos necesarios para su realización.

- La UGR y el iMUDS pueden promocionar el programa de intervención a través de los medios de comunicación tradicionales e institucionales para su difusión.

Por el contrario, existen otros actores que pueden impedirlo o dificultarlo:

- Otras empresas asentadas con las que se comparta el nicho de mercado, las cuales posean recursos materiales, económicos y humanos para acaparar el mercado.
- Otros eventos inesperados como la pandemia de COVID-19 o la crisis económica pueden impedir su desarrollo o dificultar su acceso a los clientes.

4. Motivación y desarrollo profesional

La motivación principal para la realización de este trabajo ha sido indagar en los procesos fisiopatológicos subyacentes al MetS y cómo el ejercicio actúa a modo de estímulo desencadenante de numerosos mecanismos fisiológicos que tienen un impacto directo en las causas de esta patología.

Como apasionado de las ciencias biológicas y ferviente defensor del papel terapéutico del ejercicio físico, reivindico con este trabajo de fin de grado la actividad física como una valiosa herramienta de la que disponemos y nos diferencia de otros perfiles profesionales. Esto convierte en imprescindible al graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte dentro de un equipo multidisciplinar orientado a la promoción de la salud.

Este trabajo ha sido concebido con el objetivo de, alineado con la memoria de verificación del grado (BOE de 20 de septiembre de 2018), desarrollar estos conocimientos y herramientas para el posterior ejercicio profesional a través de diversas competencias. En primer lugar, se ha llevado a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica para la fundamentación científica de los beneficios del ejercicio físico sobre el MetS y la elaboración del programa de intervención (competencias 4.3, 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4). En segundo lugar, se ha concretado de forma minuciosa la estructura de un programa de ejercicio físico orientado a la mejora de los factores de riesgo que definen el MetS (competencias 2.1 y 2.2), la promoción de la actividad física y el desarrollo de la condición física (competencias 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 4.2). Por último, se ha desarrollado la evaluación y monitorización de las principales variables de interés para la prescripción de la carga y la valoración de la eficacia del programa de intervención (competencias 2.4 y 2.6).

El objetivo principal a largo plazo para profundizar y especializarme en este campo es cursar el doctorado en biomedicina a través de la beca de formación del profesorado universitario del Ministerio de Educación y Formación Profesional. Para ello, actualmente soy beneficiario de la beca de iniciación a la investigación del Plan Propio de la UGR. En el próximo curso, me matricularé en el doble máster de educación e

investigación en la actividad física y el deporte y solicitaré la beca de colaboración del Ministerio de Educación y Formación Profesional.

5. Conclusiones

El propósito de este trabajo fin de grado es demostrar que la implementación de un programa de ejercicio físico concurrente resulta altamente beneficiosa para mejorar la salud cardiovascular de las personas con MetS. La evidencia científica actual muestra una gran cantidad de beneficios significativos y clínicamente relevantes en la salud de los individuos que participan en un programa de estas características. En términos de salud pública, estos hallazgos respaldan la importancia de promover y prescribir el ejercicio físico como parte integral de un programa multicomponente de modificación del estilo de vida para el manejo del MetS.

Además, se destaca la necesidad de implementar programas de ejercicio adaptados y supervisados por profesionales de la actividad física, con el fin de garantizar la seguridad y eficacia de la intervención. Este trabajo muestra la estrecha relación que guarda la actividad física con la salud, resaltando el papel del graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte en la promoción de la salud.

6. Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer y hacer partícipes de este trabajo a los profesores con los que he tenido la dicha de aprender y han alimentado mi curiosidad y pasión por la ciencia. A ellos les debo mi presente y les dedico mi futuro.

En segundo lugar, agradecer a la pareja, familia y amigos por el apoyo y permitir que me dedique plenamente en el desarrollo del grado y a la realización de este trabajo. Sin vosotros nada de esto sería posible.

7. Referencias bibliográficas

2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee. 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, 2018. (n.d.).

Abbfati, C., Abbas, K. M., Abbasi-Kangevari, M., Abd-Allah, F., Abdelalim, A., Abdollahi, M., Abdollahpour, I., Abegaz, K. H., Abolhassani, H., Aboyans, V., Abreu, L. G., Abrigo, M. R. M., Abualhasan, A., Abu-Raddad, L. J., Abushouk, A. I., Adabi, M., Adekanmbi, V., Adeoye, A. M., Adetokunboh, O. O., ... Murray, C. J. L. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-

- 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet (London, England)*, 396(10258), 1223–1249. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2)
- Åberg, F., Byrne, C. D., Pirola, C. J., Männistö, V., & Sookoian, S. (2023). Alcohol consumption and metabolic syndrome: Clinical and epidemiological impact on liver disease. *Journal of Hepatology*, 78(1), 191–206. <https://doi.org/10.1016/J.JHEP.2022.08.030>
- Acuerdo del Consejo de Universidades, de 17 de septiembre de 2018, por el que se establecen recomendaciones para la propuesta por las universidades de memorias de verificación del título oficial de Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.* (n.d.). Boletín Oficial del Estado, 228, de 20 de septiembre de 2018. [https://www.boe.es/eli/es/res/2018/09/18/\(1\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2018/09/18/(1))
- AHA. (2023). *Symptoms and Diagnosis of Metabolic Syndrome*. <https://www.heart.org/en/health-topics/metabolic-syndrome/symptoms-and-diagnosis-of-metabolic-syndrome>
- Alberti, K. G. M. M., Eckel, R. H., Grundy, S. M., Zimmet, P. Z., Cleeman, J. I., Donato, K. A., Fruchart, J. C., James, W. P. T., Loria, C. M., & Smith, S. C. (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 Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity. *Circulation*, 120(16), 1640–1645. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644>
- Ambroselli, D., Masciulli, F., Romano, E., Catanzaro, G., Besharat, Z. M., Massari, M. C., Ferretti, E., Migliaccio, S., Izzo, L., Ritieni, A., Grosso, M., Formichi, C., Dotta, F., Frigerio, F., Barbiera, E., Giusti, A. M., Ingallina, C., & Mannina, L. (2023). New Advances in Metabolic Syndrome, from Prevention to Treatment: The Role of Diet and Food. *Nutrients*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/NU15030640>
- American College of Sports Medicine. (2021). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (11th Edition). Lippincott Williams and Wilkins.
- Angelico, F., Baratta, F., Coronati, M., Ferro, D., & Del Ben, M. (2023). Diet and metabolic syndrome: a narrative review. *Internal and Emergency Medicine*. <https://doi.org/10.1007/S11739-023-03226-7>
- Bae, C. Y., Piao, M., Kim, M., Im, Y., Kim, S., Kim, D., Choi, J., & Cho, K. H. (2021). Biological age and lifestyle in the diagnosis of metabolic syndrome: the NHIS health screening data, 2014-2015. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-020-79256-4>
- Batrakoulis, A., Jamurtas, A. Z., Metsios, G. S., Perivoliotis, K., Liguori, G., Feito, Y., Riebe, D., Thompson, W. R., Angelopoulos, T. J., Krstrup, P., Mohr, M., Draganidis, D., Poullos, A., & Fatouros, I. G. (2022). Comparative Efficacy of 5 Exercise Types on Cardiometabolic Health in Overweight and Obese Adults: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of 81 Randomized Controlled

- Trials. *Circulation. Cardiovascular Quality and Outcomes*, 15(6), E008243. <https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.121.008243>
- Belladelli, F., Montorsi, F., & Martini, A. (2022). Metabolic syndrome, obesity and cancer risk. *Current Opinion in Urology*, 32(6), 594–597. <https://doi.org/10.1097/MOU.0000000000001041>
- Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. A. (2018). *Periodización: teoría y metodología del entrenamiento* (C. A. Buzzichelli, Ed.; Nueva edición act...) [Book]. Tutor.
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(8), 633–646. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838080-00002>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), 161–170. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208>
- Buckup, K. (Klaus). (2016). *Clinical tests for the musculoskeletal system: examinations, signs, phenomena* (J. Buckup & H. H. (Hans H.) Paessler, Eds.; Third edition.) [Book]. Thieme.
- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J. P., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., Dipietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich, C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54(24), 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2020-102955>
- Bushman, B. A., & Battista, R. (2015). *Manual ACSM para el entrenador personal* (B. A. Bushman & R. Battista, Eds.) [Book]. Paidotribo.
- Cabello Manrique, D., & Puga González, E. (2021). *Manual de planificación y organización de sistemas y actividades deportivas*. Editorial Técnica Avicam.
- Campbell, W. 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 and Science in Sports and Exercise*, 51(6), 1220–1226. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001934>
- Castro-Piñero, J., Marin-Jimenez, N., Fernandez-Santos, J. R., Martin-Acosta, F., Segura-Jimenez, V., Izquierdo-Gomez, R., Ruiz, J. R., & Cuenca-Garcia, M. (2021). Criterion-related validity of field-based fitness tests in adults: A systematic review.

- Journal of Clinical Medicine*, 10(16), 3743.
<https://doi.org/10.3390/JCM10163743/S1>
- Cho, Y., & Lee, S. Y. (2022). Useful Biomarkers of Metabolic Syndrome. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22).
<https://doi.org/10.3390/IJERPH192215003>
- Coburn, J. W. (2016). *Manual NSCA : fundamentos del entrenamiento personal* (M. H. Malek, Ed.; 2a. edición.) [Book]. Editorial Paidotribo México.
- Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., & Lauer, M. S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *The New England Journal of Medicine*, 341(18), 1351–1357.
<https://doi.org/10.1056/NEJM199910283411804>
- Concheiro-Moscoso, P., Groba, B., Martínez-Martínez, F. J., Miranda-Duro, M. del C., Nieto-Riveiro, L., Pousada, T., & Pereira, J. (2022). Use of the Xiaomi Mi Band for sleep monitoring and its influence on the daily life of older people living in a nursing home. *Digital Health*, 8. <https://doi.org/10.1177/20552076221121162>
- Costa, E. C., Hay, J. L., Kehler, D. S., Boreskie, K. F., Arora, R. C., Umpierre, D., Sz wajcer, A., & Duhamel, T. A. (2018). Effects of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training On Blood Pressure in Adults with Pre- to Established Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Trials. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(9), 2127–2142.
<https://doi.org/10.1007/S40279-018-0944-Y>
- Cuenca-Garcia, M., Marin-Jimenez, N., Perez-Bey, A., Sánchez-Oliva, D., Camiletti-Moiron, D., Alvarez-Gallardo, I. C., Ortega, F. B., & Castro-Piñero, J. (2022). Reliability of Field-Based Fitness Tests in Adults: A Systematic Review. *Sports Medicine 2022 52:8*, 52(8), 1961–1979. <https://doi.org/10.1007/S40279-021-01635-2>
- Cuesta, M., Fuentes, M., Rubio, M., Bordiu, E., Barabash, A., Garcia De La Torre, N., Rojo-Martinez, G., Valdes, S., Soriguer, F., Vendrell, J. J., Urrutia, I. M., Ortega, E., Montanya, E., Menendez, E., Lago-Sampedro, A., Gomis, R., Goday, A., Castell, C., Badia-Guillen, R., ... Calle-Pascual, A. L. (2020). Incidence and regression of metabolic syndrome in a representative sample of the Spanish population: results of the cohort di@bet.es study. *BMJ Open Diabetes Research & Care*, 8(1).
<https://doi.org/10.1136/BMJDR-2020-001715>
- Da Silva, M. A. R., Baptista, L. C., Neves, R. S., De França, E., Loureiro, H., Lira, F. S., Caperuto, E. C., Veríssimo, M. T., & Martins, R. A. (2020). The Effects of Concurrent Training Combining Both Resistance Exercise and High-Intensity Interval Training or Moderate-Intensity Continuous Training on Metabolic Syndrome. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2020.00572>
- Del Rosso, S., Baraquet, M. L., Barale, A., Defagó, M. D., Tortosa, F., Perovic, N. R., & Aoki, M. P. (2023). Long-term effects of different exercise training modes on cytokines and adipokines in individuals with overweight/obesity and cardiometabolic diseases: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression

- of randomized controlled trials. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 24(6). <https://doi.org/10.1111/OBR.13564>
- Dempsey, P. C., Biddle, S. J. H., Buman, M. P., Chastin, S., Ekelund, U., Friedenreich, C. M., Katzmarzyk, P. T., Leitzmann, M. F., Stamatakis, E., van der Ploeg, H. P., Willumsen, J., & Bull, F. (2020). New global guidelines on sedentary behaviour and health for adults: broadening the behavioural targets. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/S12966-020-01044-0>
- Diao, Y., Tang, J., Wang, X., Deng, W., Tang, J., & You, C. (2023). Metabolic Syndrome, Nonalcoholic Fatty Liver Disease, and Chronic Hepatitis B: A Narrative Review. *Infectious Diseases and Therapy*, 12(1), 53–66. <https://doi.org/10.1007/S40121-022-00725-6>
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W., & Smith, B. K. (2009). American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(2), 459–471. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3181949333>
- Dunstan, D. W., Dogra, S., Carter, S. E., & Owen, N. (2021). Sit less and move more for cardiovascular health: emerging insights and opportunities. *Nature Reviews. Cardiology*, 18(9), 637–648. <https://doi.org/10.1038/S41569-021-00547-Y>
- Ekelund, U., Steene-Johannessen, J., Brown, W. J., Fagerland, M. W., Owen, N., Powell, K. E., Bauman, A., Lee, I. M., Ding, D., Heath, G., Hallal, P. C., Kohl, H. W., Pratt, M., Reis, R., Sallis, J., Aadahl, M., Blot, W. J., Chey, T., Deka, A., ... Yi-Park, S. (2016). Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women. *The Lancet*, 388(10051), 1302–1310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30370-1/ATTACHMENT/A46E9936-FA3C-4E9A-B498-23F62E3CE9DD/MMC1.PDF](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30370-1/ATTACHMENT/A46E9936-FA3C-4E9A-B498-23F62E3CE9DD/MMC1.PDF)
- Ekelund, U., Tarp, J., Steene-Johannessen, J., Hansen, B. H., Jefferis, B., Fagerland, M. W., Whincup, P., Diaz, K. M., Hooker, S. P., Chernofsky, A., Larson, M. G., Spartano, N., Vasani, R. S., Dohrn, I. M., Hagströmer, M., Edwardson, C., Yates, T., Shiroma, E., Anderssen, S. A., & Lee, I. M. (2019). Dose-response associations between accelerometer measured physical activity and sedentary time and all cause mortality: systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 366. <https://doi.org/10.1136/BMJ.L4570>
- Fabris De Souza, S. A., Faintuch, J., Valezi, A. C., Sant'Anna, A. F., Gama-Rodrigues, J. J., De Batista Fonseca, I. C., & De Melo, R. D. (2005). Postural changes in morbidly obese patients. *Obesity Surgery*, 15(7), 1013–1016. <https://doi.org/10.1381/0960892054621224>
- Fahed, G., Aoun, L., Zerdan, M. B., Allam, S., Zerdan, M. B., Bouferraa, Y., & Assi, H. I. (2022). Metabolic Syndrome: Updates on Pathophysiology and Management in

2021. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(2).
<https://doi.org/10.3390/IJMS23020786>
- 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). Metabolic syndrome in Spain: prevalence and coronary risk associated with harmonized definition and WHO proposal. DARIOS study. *Revista Espanola de Cardiologia (English Ed.)*, 65(3), 241–248.
<https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2011.10.015>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115.
<https://doi.org/10.1519/00124278-200102000-00019>
- Garcia-Ramos, A., & Jaric, S. (2018). Two-point method: A quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the 1 repetition maximum. *Strength and Conditioning Journal*, 40(2), 54–66.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000359>
- Gerds, E., & Regitz-Zagrosek, V. (2019). Sex differences in cardiometabolic disorders. *Nature Medicine*, 25(11), 1657–1666. <https://doi.org/10.1038/S41591-019-0643-8>
- Granata, C., Jamnick, N. A., & Bishop, D. J. (2018). Principles of Exercise Prescription, and How They Influence Exercise-Induced Changes of Transcription Factors and Other Regulators of Mitochondrial Biogenesis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(7), 1541–1559. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0894-4>
- Guallar-Castillón, P., Pérez, R. F., López García, E., León-Muñoz, L. M., Aguilera, M. T., Graciani, A., Gutiérrez-Fisac, J. L., Banegas, J. R., & Rodríguez-Artalejo, F. (2014). Magnitude and management of metabolic syndrome in Spain in 2008-2010: the ENRICA study. *Revista Espanola de Cardiologia (English Ed.)*, 67(5), 367–373.
<https://doi.org/10.1016/J.REC.2013.08.014>
- Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *The Lancet. Global Health*, 6(10), e1077–e1086. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7)
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in Neuroscience*, 11(NOV).
<https://doi.org/10.3389/FNINS.2017.00612>
- Hauschildt, M., McQueen, B., & Stanford, G. (2014). The core mobility series: A dynamic warm-up tool. *Strength and Conditioning Journal*, 36(5), 81–87.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000092>
- Holmes, C. J., Fedewa, M. V., Winchester, L. J., Macdonald, H. V., Wind, S. A., & Esco, M. R. (2020). Validity of Smartphone Heart Rate Variability Pre- and Post-

- Resistance Exercise. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(20), 1–13. <https://doi.org/10.3390/S20205738>
- Hou, N., Luo, C., & Lin, G. (2022). Editorial: The link between metabolic syndrome and chronic kidney disease: Focus on diagnosis and therapeutics. *Frontiers in Endocrinology*, 13. <https://doi.org/10.3389/FENDO.2022.1030497>
- Huang, P. L. (2009). A comprehensive definition for metabolic syndrome. *DMM Disease Models and Mechanisms*, 2(5–6), 231–237. <https://doi.org/10.1242/DMM.001180/-/DC1>
- Huertas, J. R., Al Fazazi, S., Hidalgo-Gutierrez, A., López, L. C., & Casuso, R. A. (2017). Antioxidant effect of exercise: Exploring the role of the mitochondrial complex I superassembly. *Redox Biology*, 13, 477. <https://doi.org/10.1016/J.REDOX.2017.07.009>
- Huertas, J. R., Casuso, R. A., Agustín, P. H., & Cogliati, S. (2019). Stay Fit, Stay Young: Mitochondria in Movement: The Role of Exercise in the New Mitochondrial Paradigm. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7058350>
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2018-0935>
- Islam, H., & Gillen, J. B. (2023). Skeletal muscle mechanisms contributing to improved glycemic control following intense interval exercise and training. *Sports Medicine and Health Science*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/J.SMHS.2023.01.002>
- Jepsen, S., Suvan, J., & Deschner, J. (2020). The association of periodontal diseases with metabolic syndrome and obesity. *Periodontology 2000*, 83(1), 125–153. <https://doi.org/10.1111/PRD.12326>
- Kanaley, J. A., Colberg, S. R., Corcoran, M. H., Malin, S. K., Rodriguez, N. R., Crespo, C. J., Kirwan, J. P., & Zierath, J. R. (2022). Exercise/Physical Activity in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 54(2), 353–368. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002800>
- Karra, P., Winn, M., Pauleck, S., Bulsiewicz-Jacobsen, A., Peterson, L., Coletta, A., Doherty, J., Ulrich, C. M., Summers, S. A., Gunter, M., Hardikar, S., & Playdon, M. C. (2022). Metabolic dysfunction and obesity-related cancer: Beyond obesity and metabolic syndrome. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 30(7), 1323–1334. <https://doi.org/10.1002/OBY.23444>
- Katzmarzyk, P. T., Church, T. S., Janssen, I., Ross, R., & Blair, S. N. (2005). Metabolic syndrome, obesity, and mortality: Impact of cardiorespiratory fitness. *Diabetes Care*, 28(2), 391–397. <https://doi.org/10.2337/DIACARE.28.2.391>
- Kazamel, M., Stino, A. M., & Smith, A. G. (2021). Metabolic syndrome and peripheral neuropathy. *Muscle & Nerve*, 63(3), 285–293. <https://doi.org/10.1002/MUS.27086>

- Kim, S. H., Jeong, J. B., Kang, J., Ahn, D. W., Kim, J. W., Kim, B. G., Lee, K. L., Oh, S., Yoon, S. H., Park, S. J., & Lee, D. H. (2021). Association between sarcopenia level and metabolic syndrome. *PloS One*, *16*(3). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0248856>
- Knaeps, S., Bourgois, J. G., Charlier, R., Mertens, E., Lefevre, J., & Wijndaele, K. (2018). Ten-year change in sedentary behaviour, moderate-to-vigorous physical activity, cardiorespiratory fitness and cardiometabolic risk: Independent associations and mediation analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(16), 1063–1068. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2016-096083>
- Kodama, S., Saito, K., Tanaka, S., Maki, M., Yachi, Y., Asumi, M., Sugawara, A., Totsuka, K., Shimano, H., Ohashi, Y., Yamada, N., & Sone, H. (2009). Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*, *301*(19), 2024–2035. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2009.681>
- Konrad, A., Nakamura, M., Tilp, M., Donti, O., & Behm, D. G. (2022). Foam Rolling Training Effects on Range of Motion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *52*(10), 2523–2535. <https://doi.org/10.1007/S40279-022-01699-8>
- LaMonte, M. J., Barlow, C. E., Jurca, R., Kampert, J. B., Church, T. S., & Blair, S. N. (2005). Cardiorespiratory fitness is inversely associated with the incidence of metabolic syndrome: A prospective study of men and women. *Circulation*, *112*(4), 505–512. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.104.503805>
- Lavie, C. J., Ozemek, C., Carbone, S., Katzmarzyk, P. T., & Blair, S. N. (2019). Sedentary Behavior, Exercise, and Cardiovascular Health. *Circulation Research*, *124*(5), 799–815. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.312669>
- 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). <https://doi.org/10.1007/S11906-020-1030-Z>
- Lear, S. A., & Gasevic, D. (2020). Ethnicity and metabolic syndrome: Implications for assessment, management and prevention. *Nutrients*, *12*(1). <https://doi.org/10.3390/NU12010015>
- Lee, I. M., Shiroma, E. J., Kamada, M., Bassett, D. R., Matthews, C. E., & Buring, J. E. (2019). Association of Step Volume and Intensity With All-Cause Mortality in Older Women. *JAMA Internal Medicine*, *179*(8), 1105–1112. <https://doi.org/10.1001/JAMAINTERNMED.2019.0899>
- Lemos, G. de O., Torrinhas, R. S., & Waitzberg, D. L. (2023). Nutrients, Physical Activity, and Mitochondrial Dysfunction in the Setting of Metabolic Syndrome. *Nutrients*, *15*(5). <https://doi.org/10.3390/NU15051217>

- Lifshitz, K., Ber, Y., & Margel, D. (2021). Role of Metabolic Syndrome in Prostate Cancer Development. *European Urology Focus*, 7(3), 508–512. <https://doi.org/10.1016/J.EUF.2021.04.022>
- Lim, S. S., Kakoly, N. S., Tan, J. W. J., Fitzgerald, G., Bahri Khomami, M., Joham, A. E., Cooray, S. D., Misso, M. L., Norman, R. J., Harrison, C. L., Ranasinha, S., Teede, H. J., & Moran, L. J. (2019). Metabolic syndrome in polycystic ovary syndrome: a systematic review, meta-analysis and meta-regression. *Obesity Reviews : An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 20(2), 339–352. <https://doi.org/10.1111/OBR.12762>
- MacKenzie-Shalders, K., Kelly, J. T., So, D., Coffey, V. G., & Byrne, N. M. (2020). The effect of exercise interventions on resting metabolic rate: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 38(14), 1635–1649. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754716>
- Marcuello, C., Calle-Pascual, A. L., Fuentes, M., Runkle, I., Rubio, M. A., Montañez, C., Rojo-Martinez, G., Soriguer, F., Bordiu, E., Goday, A., Bosch-Comas, A., Carmena, R., Casamitjana, R., Castaño, L., Castell, C., Catalá, M., Delgado, E., Franch, J., Gaztambide, S., ... Vendrell, J. (2013). Prevalence of the metabolic syndrome in Spain using regional cutoff points for waist circumference: the di@bet.es study. *Acta Diabetologica*, 50(4), 615–623. <https://doi.org/10.1007/S00592-013-0468-8>
- NHLBI. (2023). *Metabolic Syndrome - Symptoms*. <https://www.nhlbi.nih.gov/health/metabolic-syndrome/symptoms>
- Nilsson, P. M., Tuomilehto, J., & Rydén, L. (2019). The metabolic syndrome - What is it and how should it be managed? *European Journal of Preventive Cardiology*, 26(2_suppl), 33–46. <https://doi.org/10.1177/2047487319886404>
- O'Brien, M. W., Johns, J. A., Robinson, S. A., Bungay, A., Mekary, S., & Kimmerly, D. S. (2020). Impact of High-Intensity Interval Training, Moderate-Intensity Continuous Training, and Resistance Training on Endothelial Function in Older Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(5), 1057–1067. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002226>
- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Labayen, I., Lavie, C. J., & Blair, S. N. (2018). The Fat but Fit paradox: what we know and don't know about it. *British Journal of Sports Medicine*, 52(3), 151–153. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2016-097400>
- Osibogun, O., Ogunmoroti, O., & Michos, E. D. (2020). Polycystic ovary syndrome and cardiometabolic risk: Opportunities for cardiovascular disease prevention. *Trends in Cardiovascular Medicine*, 30(7), 399–404. <https://doi.org/10.1016/J.TCM.2019.08.010>
- Pérez-Castilla, A., Jukic, I., & García-Ramos, A. (2021). Validation of a novel method to assess maximal neuromuscular capacities through the load-velocity relationship. *Journal of Biomechanics*, 127. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2021.110684>
- Pérez-Castilla, A., Miras-Moreno, S., García-Vega, A. J., & García-Ramos, A. (2021). The ADR Encoder is a reliable and valid device to measure barbell mean velocity

during the Smith machine bench press exercise.
<https://doi.org/10.1177/17543371211062811>
<https://doi.org/10.1177/17543371211062811>

- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Garrido-Blanca, G., Delgado-García, G., Balsalobre-Fernández, C., & García-Ramos, A. (2019). Precision of 7 Commercially Available Devices for Predicting Bench-Press 1-Repetition Maximum From the Individual Load-Velocity Relationship. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(10), 1442–1446. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2018-0801>
- Pérez-Martínez, P., Mikhailidis, D. P., Athyros, V. G., Bullo, M., Couture, P., Covas, M. I., de Koning, L., Delgado-Lista, J., Díaz-López, A., Drevon, C. A., Estruch, R., Esposito, K., Fitó, M., Garaulet, M., Giugliano, D., García-Ríos, A., Katsiki, N., Kolovou, G., Lamarche, B., ... López-Miranda, J. (2017). Lifestyle recommendations for the prevention and management of metabolic syndrome: an international panel recommendation. *Nutrition Reviews*, *75*(5), 307–326. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUX014>
- Pescatello, L. S., Franklin, B. A., Fagard, R., Farquhar, W. B., Kelley, G. A., Ray, C. A., & American College of Sports Medicine. (2004). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(3), 533–553. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000115224.88514.3A>
- Patrikova, E., Willsmer, N. J., Altini, M., Jovanović, M., Mitchell, L. J. G., Gonzalez, J. T., Sousa, A. C., & Williams, S. (2021). Monitoring the Heart Rate Variability Responses to Training Loads in Competitive Swimmers Using a Smartphone Application and the Banister Impulse-Response Model. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(6), 787–795. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0201>
- Plews, D. J., Scott, B., Altini, M., Wood, M., Kilding, A. E., & Laursen, P. B. (2017). Comparison of Heart-Rate-Variability Recording With Smartphone Photoplethysmography, Polar H7 Chest Strap, and Electrocardiography. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(10), 1324–1328. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2016-0668>
- Poon, E. T. C., Siu, P. M. F., Wongpipit, W., Gibala, M., & Wong, S. H. S. (2022). Alternating high-intensity interval training and continuous training is efficacious in improving cardiometabolic health in obese middle-aged men. *Journal of Exercise Science and Fitness*, *20*(1), 40–47. <https://doi.org/10.1016/J.JESF.2021.11.003>
- Prasun, P. (2020). Mitochondrial dysfunction in metabolic syndrome. *Biochimica et Biophysica Acta. Molecular Basis of Disease*, *1866*(10). <https://doi.org/10.1016/J.BBADIS.2020.165838>
- Price, C., Ditton, G., Russell, G. B., & Aloï, J. (2023). Reliability of Inpatient CGM: Comparison to Standard of Care. *Journal of Diabetes Science and Technology*, *17*(2), 329–335. <https://doi.org/10.1177/19322968211062168>

- Qiu, Y., Zhou, X., Fu, S., Luo, S., & Li, Y. (2022). Systematic Review and Meta-analysis of the Association Between Metabolic Syndrome and Androgenetic Alopecia. *Acta Dermato-Venereologica*, *102*. <https://doi.org/10.2340/ACTADV.V101.1012>
- 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 (Auckland, N.Z.)*, *45*(5), 679–692. <https://doi.org/10.1007/S40279-015-0321-Z>
- Reaven, G. M. (1988). Banting lecture 1988. Role of insulin resistance in human disease. *Diabetes*, *37*(12), 1595–1607. <https://doi.org/10.2337/DIAB.37.12.1595>
- 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), e653–e699. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000461>
- Rossi, A., Perri, E., Pappalardo, L., Cintia, P., Alberti, G., Norman, D., & Iaia, F. M. (2022). Wellness Forecasting by External and Internal Workloads in Elite Soccer Players: A Machine Learning Approach. *Frontiers in Physiology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2022.896928/FULL>
- Ruiz, J. R., Sui, X., Lobelo, F., Morrow, J. R., Jackson, A. W., Sjöström, M., & Blair, S. N. (2008). Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, *337*(7661), 92–95. <https://doi.org/10.1136/BMJ.A439>
- Saiki, A., Ohira, M., Endo, K., Koide, N., Oyama, T., Murano, T., Watanabe, H., Miyashita, Y., & Shirai, K. (2009). Circulating angiotensin II is associated with body fat accumulation and insulin resistance in obese subjects with type 2 diabetes mellitus. *Metabolism: Clinical and Experimental*, *58*(5), 708–713. <https://doi.org/10.1016/J.METABOL.2009.01.013>
- Saklayen, M. G. (2018). The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome. *Current Hypertension Reports*, *20*(2). <https://doi.org/10.1007/S11906-018-0812-Z>
- Saunders, T. J., McIsaac, T., Douillette, K., Gaulton, N., Hunter, S., Rhodes, R. E., Prince, S. A., Carson, V., Chaput, J. P., Chastin, S., Giangregorio, L., Janssen, I., Katzmarzyk, P. T., Kho, M. E., Poitras, V. J., Powell, K. E., Ross, R., Ross-White, A., Tremblay, M. S., & Healy, G. N. (2020). Sedentary behaviour and health in adults: an overview of systematic reviews. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, *45*(10 (Suppl. 2)), S197–S217. <https://doi.org/10.1139/APNM-2020-0272>
- Schoenfeld, B., & Snarr, R. L. (2022). *NSCA's essentials of personal training* (B. Schoenfeld & R. L. Snarr, Eds.; Third Edition.) [Book]. Human Kinetics.

- Serrablo-Torrejón, I., López-Valenciano, A., Ayuso, M., Horton, E., Mayo, X., Medina-Gómez, G., Liguori, G., & Jiménez, A. (2020). High intensity interval training exercise-induced physiological changes and their potential influence on metabolic syndrome clinical biomarkers: a meta-analysis. *BMC Endocrine Disorders*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/S12902-020-00640-2>
- Shrestha, N., Kukkonen-Harjula, K. T., Verbeek, J. H., Ijaz, S., Hermans, V., & Pedisic, Z. (2018). Workplace interventions for reducing sitting at work. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(6). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010912.pub4>
- Shultz, S. P., Byrne, N. M., & Hills, A. P. (2014). Musculoskeletal Function and Obesity: Implications for Physical Activity. *Current Obesity Reports*, 3(3), 355–360. <https://doi.org/10.1007/S13679-014-0107-X>
- Silveira Rossi, J. L., Barbalho, S. M., Reverete de Araujo, R., Bechara, M. D., Sloan, K. P., & Sloan, L. A. (2022). Metabolic syndrome and cardiovascular diseases: Going beyond traditional risk factors. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 38(3). <https://doi.org/10.1002/DMRR.3502>
- Smiley, A., King, D., & Bidulescu, A. (2019). The Association between Sleep Duration and Metabolic Syndrome: The NHANES 2013/2014. *Nutrients*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/NU11112582>
- Smith, G. I., Mittendorfer, B., & Klein, S. (2019). Metabolically healthy obesity: facts and fantasies. *The Journal of Clinical Investigation*, 129(10), 3978–3989. <https://doi.org/10.1172/JCI129186>
- Smith, L., Ekelund, U., & Hamer, M. (2015). The potential yield of non-exercise physical activity energy expenditure in public health. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(4), 449–452. <https://doi.org/10.1007/S40279-015-0310-2>
- Stone, J. D., Ulman, H. K., Tran, K., Thompson, A. G., Halter, M. D., Ramadan, J. H., Stephenson, M., Finomore, V. S., Galster, S. M., Rezai, A. R., & Hagen, J. A. (2021). Assessing the Accuracy of Popular Commercial Technologies That Measure Resting Heart Rate and Heart Rate Variability. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 585870. <https://doi.org/10.3389/FSPOR.2021.585870>
- Strasser, B., Siebert, U., & Schobersberger, W. (2010). Resistance training in the treatment of the metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of the effect of resistance training on metabolic clustering in patients with abnormal glucose metabolism. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(5), 397–415. <https://doi.org/10.2165/11531380-000000000-00000>
- Świątkiewicz, I., Woźniak, A., & Taub, P. R. (2021). Time-Restricted Eating and Metabolic Syndrome: Current Status and Future Perspectives. *Nutrients*, 13(1), 1–24. <https://doi.org/10.3390/NU13010221>
- Tahmi, M., Palta, P., & Luchsinger, J. A. (2021). Metabolic Syndrome and Cognitive Function. *Current Cardiology Reports*, 23(12). <https://doi.org/10.1007/S11886-021-01615-Y>

- Ter Horst, R., van den Munckhof, I. C. L., Schraa, K., Aguirre-Gamboa, R., Jaeger, M., Smeekens, S. P., Brand, T., Lemmers, H., Dijkstra, H., Galesloot, T. E., de Graaf, J., Xavier, R. J., Li, Y., Joosten, L. A. B., Rutten, J. H. W., Netea, M. G., & Riksen, N. P. (2020). Sex-Specific Regulation of Inflammation and Metabolic Syndrome in Obesity. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, *40*(7), 1787–1800. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.120.314508>
- Trayhurn, P., & Wood, I. S. (2004). Adipokines: inflammation and the pleiotropic role of white adipose tissue. *The British Journal of Nutrition*, *92*(3), 347–355. <https://doi.org/10.1079/BJN20041213>
- Tremblay, M. S., Aubert, S., Barnes, J. D., Saunders, T. J., Carson, V., Latimer-Cheung, A. E., Chastin, S. F. M., Altenburg, T. M., Chinapaw, M. J. M., Aminian, S., Arundell, L., Hinkley, T., Hnatiuk, J., Atkin, A. J., Belanger, K., Chaput, J. P., Gunnell, K., Larouche, R., Manyanga, T., ... Wondergem, R. (2017). Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *14*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/S12966-017-0525-8/FIGURES/3>
- Tsaban, G., & Tsaban, G. (2022). Metabolic syndrome, LDL-hypercholesterolaemia, and cerebrocardiovascular risk: sex matters. *European Journal of Preventive Cardiology*, *28*(18), 2018–2020. <https://doi.org/10.1093/EURJPC/ZWAA132>
- Valenzuela, P. L., Carrera-Bastos, P., Gálvez, B. G., Ruiz-Hurtado, G., Ordovas, J. M., Ruilope, L. M., & Lucia, A. (2021). Lifestyle interventions for the prevention and treatment of hypertension. *Nature Reviews. Cardiology*, *18*(4), 251–275. <https://doi.org/10.1038/S41569-020-00437-9>
- Van Hooren, B., & Peake, J. M. (2018). Do We Need a Cool-Down After Exercise? A Narrative Review of the Psychophysiological Effects and the Effects on Performance, Injuries and the Long-Term Adaptive Response. *Sports Medicine* *2018* *48*:7, *48*(7), 1575–1595. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0916-2>
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(7), 1347–1354. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000910>
- Volaklis, K. A., Halle, M., & Meisinger, C. (2015). Muscular strength as a strong predictor of mortality: A narrative review. *European Journal of Internal Medicine*, *26*(5), 303–310. <https://doi.org/10.1016/J.EJIM.2015.04.013>
- Wang, P. X., Deng, X. R., Zhang, C. H., & Yuan, H. J. (2020). Gut microbiota and metabolic syndrome. *Chinese Medical Journal*, *133*(7), 808–816. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000696>
- Watanabe, J., Thamilarasan, M., Blackstone, E. H., Thomas, J. D., & Lauer, M. S. (2001). Heart rate recovery immediately after treadmill exercise and left ventricular systolic dysfunction as predictors of mortality: The case of stress echocardiography. *Circulation*, *104*(16), 1911–1916. <https://doi.org/10.1161/circ.104.16.1911>

- Way, K. L., Sultana, R. N., Sabag, A., Baker, M. K., & Johnson, N. A. (2019). The effect of high Intensity interval training versus moderate intensity continuous training on arterial stiffness and 24h blood pressure responses: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(4), 385–391. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMS.2018.09.228>
- Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength and Conditioning Journal*, 43(2), 31–49. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000560>
- Wewege, M. A., Thom, J. M., Rye, K. A., & Parmenter, B. J. (2018). Aerobic, resistance or combined training: A systematic review and meta-analysis of exercise to reduce cardiovascular risk in adults with metabolic syndrome. *Atherosclerosis*, 274, 162–171. <https://doi.org/10.1016/J.ATHEROSCLEROSIS.2018.05.002>
- WHO. (2009). Global health risks : mortality and burden of disease attributable to selected major risks. *World Health Organization*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44203>
- Wieben, K. (2015). *Muscle function testing : a visual guide* (B. Falkenberg, Ed.) [Book]. Thieme.
- Williams, B., Mancia, G., Spiering, W., Agabiti Rosei, E., Azizi, M., Burnier, M., Clement, D. L., Coca, A., de Simone, G., Dominiczak, A., Kahan, T., Mahfoud, F., Redon, J., Ruilope, L., Zanchetti, A., Kerins, M., Kjeldsen, S. E., Kreutz, R., Laurent, S., ... Brady, A. (2018). 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertensionThe Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). *European Heart Journal*, 39(33), 3021–3104. <https://doi.org/10.1093/EURHEARTJ/EHY339>
- Wong, A., Chen, S. Q., Halvorson, B. D., & Frisbee, J. C. (2022). Microvessel Density: Integrating Sex-Based Differences and Elevated Cardiovascular Risks in Metabolic Syndrome. *Journal of Vascular Research*, 59(1), 1–15. <https://doi.org/10.1159/000518787>
- Wood, G., Murrell, A., Van Der Touw, T., & Smart, N. (2019). HIIT is not superior to MICT in altering blood lipids: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1). <https://doi.org/10.1136/BMJSEM-2019-000647>
- Wood, G., Taylor, E., Ng, V., Murrell, A., Patil, A., Van Der Touw, T., Sigal, R., Wolden, M., & Smart, N. (2021). Determining the effect size of aerobic exercise training on the standard lipid profile in sedentary adults with three or more metabolic syndrome factors: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 56(18), 1032–1041. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2021-103999>
- Wood, G., Taylor, E., Ng, V., Murrell, A., Patil, A., van der Touw, T., Wolden, M., Andronicos, N., & Smart, N. A. (2023). Estimating the Effect of Aerobic Exercise Training on Novel Lipid Biomarkers: A Systematic Review and Multivariate Meta-

Analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 53(4).
<https://doi.org/10.1007/S40279-023-01817-0>

Wu, J., Zhang, H., Yang, L., Shao, J., Chen, D., Cui, N., Tang, L., Fu, Y., Xue, E., Lai, C., & Ye, Z. (2022). Sedentary time and the risk of metabolic syndrome: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Obesity Reviews : An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 23(12).
<https://doi.org/10.1111/OBR.13510>