

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE



“EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD SOBRE VARIABLES CARDIOVASCULARES, FUNCIONALES Y PSICOLÓGICAS EN PERSONAS CON DIABETES TIPO 1”.

TESIS DOCTORAL

Presentada por: Jesús Adolfo Alarcón Gómez

Dirigida por: Dr. Fernando Martín Rivera
Dr. Víctor Tella Muñoz

Valencia, Febrero de 2021

Dr. D. Víctor Tella Muñoz, Profesor Titular de la Universidad de Valencia, adscrito al Departamento de Educación Física y Deportiva.

Dr. D. Fernando Martín Rivera, Profesor Asociado de la Universidad de Valencia, adscrito al Departamento de Educación Física y Deportiva.

CERTIFICAN:

Que el trabajo de investigación titulado: **“efectos del entrenamiento interválico de alta intensidad sobre variables cardiovasculares, funcionales y psicológicas en personas con diabetes tipo 1”** ha sido realizado bajo su dirección en el Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Valencia, por Jesús Adolfo Alarcón Gómez, y que cumple los requisitos necesarios de calidad en rigor científico y originalidad para su depósito y posterior defensa ante el tribunal correspondiente.

Dr. D. Víctor Tella Muñoz

Dr. D. Fernando Martín Rivera

A mis padres, mi hermana y mis hermanos, por ser mi inspiración y mi apoyo incondicional.

A ti, abuelo, por animarme desde el primer momento que elegí esta profesión.

Esto es gracias a vosotros.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco al Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Valencia todos los recursos proporcionados para llevar a cabo la presente investigación, la cual se pudo desarrollar por la participación voluntaria y desinteresada de personas con Diabetes Tipo 1 y a quienes estoy muy agradecido tanto por su colaboración e implicación en el estudio como por las enseñanzas que me llevé de su continua lucha contra la enfermedad. Sois un ejemplo a seguir.

Este trabajo ha sido completado gracias al trabajo y apoyo del Dr. Víctor Tella Muñoz y sobre todo de Dr. Fernando Martín Rivera, de quien me gustaría mencionar su gran esfuerzo, cercanía y colaboración para hacer esto posible. Incontables reuniones e infinidad de llamadas durante estos años en los que me ha ayudado muchísimo. He aprendido mucho de vosotros, este proceso ha sido muy enriquecedor para mí. Muchas gracias. También, me gustaría agradecer a Dr. Iván Chulvi su trabajo y apoyo en el desarrollo de las publicaciones científicas procedentes de esta Tesis.

Somos el resultado de las personas de las que nos rodeamos, y yo he llegado hasta aquí por el esfuerzo diario de mi padre, Zacarías Alarcón, para que no nos faltase nunca de nada y fue quien me impulsó a iniciar este camino, por el cuidado e increíble dedicación de mi madre, Pilar Gómez, y por el apoyo, inspiración y ayuda constante de mi hermana Alicia y mis hermanos, Jose Carlos y Fernando. Ellos me han hecho una persona honrada, trabajadora y perseverante. Por ello, le agradezco y dedico esta Tesis Doctoral a ellos: mis personajes favoritos. Estoy aquí gracias vosotros.

Quiero agradecer también a los miembros de Sport Center Marvá, su hospitalidad, cercanía y ayuda durante todo el proceso del doctorado y a los doctores Moisés Picón y Félix Mateo sus valiosas aportaciones en las correcciones del trabajo final.

Por último, quiero agradecer a mis amigos (los Pantux), a todos mis compañeros de Sanus Vitae, a mis amigos y compañeros de la universidad y a ti, Marta, por vuestro apoyo, interés, fuerza y ánimo durante estos años. Esto también es gracias a todos vosotros.

Jesús Adolfo Alarcón Gómez

Resumen

El entrenamiento interválico de alta intensidad, conocido como *HIIT* por sus siglas en inglés (*high-intensity interval training*), es un tipo de ejercicio físico que en los últimos años ha justificado ser una estrategia interesante para personas con enfermedades cardiometabólicas. En concreto, en personas con diabetes tipo 1 (DT1), el HIIT reduce el riesgo de hipoglucemia durante y después de la actividad, lo cual, es la principal barrera por la que esta población es, en su mayoría, físicamente inactiva.

El propósito del presente estudio de investigación fue analizar los efectos que un protocolo de HIIT genera en personas adultas y sedentarias con DT1, sobre diferentes variables cardiovasculares, funcionales y psicológicas, las cuales están negativamente condicionadas en estas personas por la acción de la enfermedad.

La metodología del trabajo se basó en el análisis pre y post-intervención de un grupo experimental (HIIT) que constó de 11 participantes y un grupo control, que no entrenó, de 8 voluntarios. Las variables analizadas fueron: consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$), composición corporal, variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) y glucemia en ayunas como factores de riesgo cardiovascular; fuerza en miembros inferiores, equilibrio dinámico y dorsiflexión de tobillo como factores de riesgo funcional y calidad de vida, calidad del sueño, disfrute y motivación hacia el ejercicio físico como factores relacionados con el bienestar psicológico.

El protocolo de entrenamiento realizado por el grupo experimental consistió en 3 sesiones por semana, durante 6 semanas de HIIT tipo 1:2 (30 segundos de alta intensidad intercalándose descansos activos de 60 segundos). Las series realizadas se fueron

incrementando desde 12, las dos primeras semanas, a 16 las dos siguientes, hasta 20 series las dos últimas semanas del periodo de intervención. El grupo control no hizo ejercicio físico durante ese periodo. Todos los protocolos de medición se llevaron a cabo en las mismas condiciones tanto en el periodo pre como en el post.

Los resultados obtenidos tras el análisis estadístico de los datos recabados durante las valoraciones indican mejoras significativas ($p < 0,05$) en todas las variables analizadas en el grupo que realizó el protocolo HIIT, a diferencia del grupo control en el que no se produjeron cambios en ninguna de las variables ($p > 0,05$). Además, el HIIT se llevó a cabo sin producirse episodios graves de hipoglucemia y con la percepción subjetiva de esfuerzo deseable por parte de los participantes.

Las conclusiones que se pueden extraer en base a lo evidenciado por los resultados son que el ejercicio físico tipo HIIT es un método de entrenamiento eficaz para las personas con DT1, ya que ayuda a la prevención de problemas cardiovasculares y funcionales y mejora el bienestar psicológico y la adherencia al ejercicio. Además, este tipo de entrenamiento es seguro para esta población al reducir el riesgo de sufrir hipoglucemias post-ejercicio con respecto a otros tipos de ejercicio físico. En consecuencia, y en relación a la aplicación práctica de estos resultados, el HIIT tipo 1:2 parece una herramienta interesante para la prescripción de ejercicio físico en personas sedentarias con DT1 diagnosticada.

Palabras Clave: Diabetes tipo 1, HIIT, entrenamiento interválico, ejercicio físico, salud.

Índice de Contenidos

Introducción	25
Marco Teórico	29
La Enfermedad y sus Tipos	29
Factores de Riesgo Asociados al Desarrollo de Diabetes Tipo 1	34
Factores de Riesgo Modificables	34
Factores de Riesgo No Modificables	37
Fisiopatología de la Diabetes Tipo 1	39
Aspectos Clínicos.....	41
Complicaciones de la Diabetes Tipo 1.....	42
Factores de Riesgo Cardiovascular.....	45
Consumo Máximo de Oxígeno (VO ₂ máx).....	45
Composición Corporal (CC).....	46
Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC)	46
Glucemia en Ayunas	49
Factores de Riesgo Funcional	49
Fuerza en Miembros Inferiores	49
Equilibrio Dinámico	50
Dorsiflexión de Tobillo.....	51

Factores de Riesgo Psicológico	52
Calidad de Vida	52
Calidad del Sueño.....	53
Disfrute del Ejercicio Físico	53
Motivación Hacia el Ejercicio Físico	54
Epidemiología de la Diabetes Tipo 1	56
Diabetes Tipo 1 y Ejercicio Físico	61
Ejercicio físico Aeróbico en Personas con Diabetes Tipo 1	66
Ejercicio Físico de Fuerza en Personas con Diabetes Tipo 1	74
Entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT).....	78
Objetivos e Hipótesis.....	89
Método	91
Distribución Temporal	91
Revisión Bibliográfica	92
Búsqueda de Muestra	92
Diseño.....	93
Valoraciones e Intervención	93
Recogida de Datos y Análisis Estadístico.....	93
Redacción de la Tesis.....	94
Revisión de la Tesis.....	94

Diseño de Estudio.....	94
Participantes	95
Valoraciones	99
Día 1 de Valoraciones	100
Día 2 de Valoraciones	104
Día 3 de Valoraciones	111
Motivación, Disfrute y Calidad de Vida y Sueño	113
Glucemia en Ayunas	116
Protocolo de Entrenamiento	117
Recogida de Datos y Análisis Estadístico	119
Resultados	121
Variables de Riesgo Cardiovascular	121
Variables Funcionales	125
Variables Psicológicas.....	130
Discusión	137
Variables de riesgo cardiovascular.....	137
Consumo Máximo de Oxígeno.....	138
Composición Corporal	142
Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca	145
Glucemia en Ayunas.....	149

Variables funcionales	152
Fuerza en Miembros Inferiores	153
Equilibrio Dinámico	156
Dorsiflexión de Tobillo.....	158
Variables Psicológicas.....	160
Calidad de Vida	160
Calidad del Sueño.....	163
Disfrute y HIIT	164
Motivación y HIIT	165
Conclusiones Finales.....	169
Aplicaciones Prácticas	174
Limitaciones y Dificultades	177
Futuras Líneas de Investigación	179
Lista de Referencias	181
Anexos.....	229

Lista de Figuras

Figura 1. Características de la diabetes tipo 1 en sus diferentes fases de desarrollo	41
Figura 2. Variables analizadas en la presente investigación	55
Figura 3. Prevalencia (en miles de personas) por regiones mundiales de diabetes tipo 1 en niños y adolescentes (0-14 años) en 2019	57
Figura 4. Número de personas con diabetes tipo 1 en la Comunidad Valenciana.....	58
Figura 5. Gasto asociado a la diabetes en el mundo en adultos (20-79 Años) al año.....	59
Figura 6. Resumen del desarrollo de la diabetes tipo 1 y sus consecuencias fisiológicas y socioeconómicas	60
Figura 7. Relación entre el ejercicio físico y la diabetes tipo 1	64
Figura 8. Factores que afectan a la respuesta de la glucosa sanguínea durante el ejercicio físico	66
Figura 9. Variables en la programación de un entrenamiento HIIT	79
Figura 10. Temporalización de la investigación	91
Figura 11. Diseño de la fase experimental del estudio.....	95
Figura 12. Diagrama de flujo de la inclusión de participantes en el estudio	98
Figura 13. Diagrama del periodo de valoraciones	99
Figura 14. Material utilizado en la evaluación de la composición corporal	101
Figura 15. Valoración de la variabilidad de la frecuencia cardíaca	102
Figura 16. Resultados obtenidos en una valoración de VFC mediante elite HRV	104
Figura 17. Valoración de la velocidad de ejecución en sentadilla.....	108
Figura 18. Valoración del equilibrio dinámico mediante Y-Test	111
Figura 19. Valoración del VO ₂ máx y la PPO.....	113
Figura 20. Participante en una de las sesiones de HIIT.....	119

Figura 21. Comparación del VO ₂ máx entre grupos y periodos de valoración	123
Figura 22. Comparación de la CC entre grupos y periodos de valoración	123
Figura 23. Comparación de VFC entre grupos y periodos de valoración	124
Figura 24. Comparación de glucemia en ayunas entre grupos y periodos de valoración	124
Figura 25. Comparación de la velocidad de ejecución en sentadilla entre grupos y periodo de valoración, según la carga utilizada	126
Figura 26. Comparación del equilibrio dinámico entre grupos, periodo de valoración y según la extremidad analizada y la dirección del Y-Test	128
Figura 27. Comparación de la dorsiflexión de tobillo entre grupos y periodos de valoración, según la extremidad evaluada.....	129
Figura 28. Comparación de la motivación en base a la teoría de la autodeterminación entre grupos y periodos de valoración.....	131
Figura 29. Comparación de la calidad de vida en base a los resultados del SF-36 entre grupos y periodos de valoración	132
Figura 30. Comparación de la calidad del sueño en base a los resultados del PSQI entre grupos y periodos de valoración	133
Figura 31. Comparación del disfrute con el ejercicio físico en base a los resultados del PACES entre grupos y periodos de valoración	134
Figura 32. Percepción subjetiva del esfuerzo de los sujetos a lo largo de la intervención ...	135
Figura 33. Escala modificada de Borg de la percepción subjetiva del esfuerzo.....	136
Figura 34. Aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas inicialmente en base a los objetivos	173

Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de los diferentes tipos de diabetes	33
Tabla 2. Factores de riesgo para el desarrollo de la diabetes tipo 1	39
Tabla 3. Diferencias entre personas con DT1 activas y sedentarias	61
Tabla 4. Diferencia entre personas con DT1 y sin patología en el comportamiento de diferentes hormonas durante el ejercicio físico aeróbico	70
Tabla 5. Recomendaciones nutricionales y ajustes de insulina para el desarrollo de ejercicio físico aeróbico con seguridad en personas con DT1.....	72
Tabla 6. Características de los estudios previos que analizaron HIIT en personas con DT1 ...	85
Tabla 7. Características generales de los participantes.....	96
Tabla 8. Criterios de inclusión y exclusión para participar en la investigación.....	97
Tabla 9. Valores pre y post intervención de las variables relacionadas con los factores de riesgo cardiovascular.....	122
Tabla 10. Valores pre y post intervención de velocidad de ejecución en sentadilla	126
Tabla 11. Valores pre y post intervención del Y-Test para el equilibrio dinámico.....	127
Tabla 12. Valores pre y post intervención del WBLT para la dorsiflexión de tobillo	129
Tabla 13. Valores pre y post intervención de las dimensiones del continuo propuesto en la Teoría de la Autodeterminación	130
Tabla 14. Valores pre y post intervención de las dimensiones del SF-36	132
Tabla 15. Valores pre y post intervención de las dimensiones del PSQI	133
Tabla 16. Valores pre y post intervención del PACES de disfrute del ejercicio físico	134

Lista de Abreviaturas

A	Anterior (dirección del Y-Test)
ACSM	American College of Sport Medicine
ATP	Adenosín tri-fosfato
CC	Composición corporal
CHO	Carbohidratos
Cm	Centímetros
DC	Dolor corporal (SF-36)
DT	Desviación Típica
DT1	Diabetes tipo 1
FCmáx	Frecuencia cardíaca máxima
FF	Función física (SF-36)
FS	Función social (SF-36)
g	Gramos
h	Hora
H	Hombre
H+Número	Hipótesis + Número de hipótesis
HbA1c	Hemoglobina glicosilada
HC	Hormona de crecimiento
HF	<i>High frequency</i> (variabilidad de la frecuencia cardíaca)
HIIT	<i>High intensity interval training</i>
IMC	Índice de masa corporal
Kg	Kilogramo
LADA	Latent autoimmune diabetes in adults
LF	<i>Low frequency</i> (variabilidad de la frecuencia cardíaca)
LF/HF	Ratio de frecuencias de variabilidad cardíaca
ln(rMSSD)	Logaritmo neperiano de la raíz cuadrada de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias entre intervalos RR consecutivos.
M	Mujer
m/s	Metros/segundo
mg/dl	Miligramos/decilitro
MICT	Ejercicio continuo de moderada intensidad
Min	Minuto
ml/min/Kg	Mililitro/minuto/kilogramo
MODY	Maturity onset diabetes of the young
N	Newton
NN50	Número de pares de intervalos RR que difieren en más de 50 ms
OMS	Organización mundial de la salud

PL	Posterolateral (dirección Y-Test)
PM	Posteromedial (dirección Y-Test)
PPO	Potencia máxima
PNN50	Porcentaje del número de pares de intervalos RR que difieren en más de 50 ms
RE	Rol emocional (SF-36)
RF	Rol físico (SF-36)
RM	Repetición máxima
rMSSD	Raíz cuadrada de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias entre intervalos RR consecutivos
SDNN	Desviación típica de los intervalos RR
SG	Salud general (SF-36)
SIT	<i>Sprint interval training</i>
SM	Salud mental (SF-36)
SNA	Sistema nervioso autónomo
SNP	Sistema nervioso parasimpático
SNS	Sistema nervioso simpático
TAD	Teoría de la autodeterminación
VFC	Variabilidad de la frecuencia cardiaca
VO₂máx	Consumo máximo de oxígeno
VT	Vitalidad (SF-36)
W	Watios
WBLT	<i>Weight bearing lunge test</i>

Anexos

Anexo 1	Cuestionario PAR-Q
Anexo 2	Cuestionario IPAQ
Anexo 3	Cuestionario PACES
Anexo 4	Cuestionario PSQI
Anexo 5	Cuestionario BREQ-2
Anexo 6	Cuestionario SF-36
Anexo 7	Cuestionarios online

Trabajos Derivados de la Tesis Doctoral

En el momento de presentación de esta tesis, se han realizado determinadas comunicaciones de los resultados más importantes del estudio mediante diferentes formatos, así como contribuciones en revistas científicas.

Comunicaciones Científicas. Presentación Poster.

Congreso internacional JAM Sports, Valencia, 24-26 enero de 2020. Seleccionado entre los tres mejores trabajos del congreso y propuesto para comunicación oral por el comité científico del congreso.

Efectos del entrenamiento interválico de alta intensidad sobre la fuerza en miembros inferiores en personas con diabetes tipo 1.

Congreso Europeo de Ciencias del Deporte, online, 28-30 octubre de 2020.

Effects of a HIIT protocol on heart rate variability in type 1 diabetes people.

Artículos Científicos Publicados.

Alarcón-Gómez J, Martín-Rivera F, Madera J, Chulvi-Medrano I. 2020. Effect of a HIIT protocol on the lower limb muscle power, ankle dorsiflexion and dynamic balance in a sedentary type 1 diabetes mellitus population: a pilot study. PeerJ8:e10510. <https://doi.org/10.7717/peerj.10510>

Publicado por revista estadounidense perteneciente a cuartil Q1 JCR (Web of Science): *PeerJ*

Alarcón-Gómez, J.; Calatayud, J.; Chulvi-Medrano, I.; Martín-Rivera, F. Effects of a HIIT Protocol on Cardiovascular Risk Factors in a Type 1 Diabetes Mellitus Population. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 1262. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031262>

Publicado en revista de Suiza perteneciente a cuartil Q2 JCR (Web of Science): *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Introducción

Es comúnmente aceptado que la actividad física, entendida como cualquier movimiento producido por los músculos esqueléticos y que genera un gasto energético, y el ejercicio físico, como actividad física planeada y estructurada con un objetivo específico (Wilkins, 2017), generan muchos beneficios para la salud tanto a nivel fisiológico como psicológico en personas sanas y con determinadas enfermedades crónicas (Dugdill et al., 2009; Pedersen & Saltin, 2015). Un término relacionado y que es importante definir es entrenamiento, que refleja cualquier tipo de sesión de ejercicio físico cuyo objetivo es mejorar la aptitud física y la salud de las personas (Zhelyazkov, 2001).

Por otra parte, el comportamiento sedentario, entendiéndose éste como cualquier actividad realizada (excluyendo periodos de sueño) en la cual se está sentado, tumbado o reclinado utilizando bajos niveles de energía, se asocia con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y metabólicas, así como un aumento de riesgo de muerte prematura (Patterson et al., 2018). De hecho, es el cuarto factor de riesgo de mortalidad más importante del mundo, solo por detrás de la hipertensión, el tabaquismo y la hiperglucemia (World Health Organization, 2010).

A pesar de los grandes beneficios que genera la práctica regular de ejercicio físico, existen determinadas poblaciones patológicas con índices elevados de sedentarismo, como las personas con diabetes tipo 1 (DT1).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la DT1 es una enfermedad caracterizada por una producción deficiente de insulina en el organismo. Esta hormona es la encargada de que la glucosa sea captada por determinados tejidos para generar energía (OMS, 2016). Por ello, es indispensable la administración exógena de insulina por parte de las personas que la sufren, ya que sin ella se produciría un estado de hiperglucemia (excesiva

concentración de glucosa en sangre) incompatible con la vida (Levy, 2016). Suele presentarse en edades tempranas, aunque también puede hacerlo en etapas posteriores de la vida. La DT1 se diagnostica en base a diferentes criterios. En primer lugar, la glucosa plasmática en ayunas (ausencia de consumo calórico durante al menos 8 horas) mayor o igual a 126mg/dl. Otro test de diagnóstico es el de tolerancia oral a la glucosa, en el que la persona ingiere una solución con 75 gramos de glucosa y tras dos horas se analiza la glucosa en sangre, siendo positivo en diabetes si se obtiene ≥ 200 mg/dl. Una hemoglobina glicosilada (HbA1c) mayor del 6,5% también determina la presencia de diabetes. Y finalmente, análisis aleatorios que muestren glucemia ≥ 200 mg/dl en personas con síntomas de diabetes es considerado un cuarto criterio de diagnóstico de diabetes (American Diabetes Association, 2020).

En esta población, más del 60% de las personas adultas es considerada sedentaria, ya que no llegan a los niveles mínimos de ejercicio físico recomendado para DT1 por el Colegio Americano de Medicina del Deporte (Leroux et al., 2014; Yardley et al., 2014), el cual aconseja, al menos, 150 minutos de ejercicio físico aeróbico semanal a una intensidad moderada, la cual se establece entre el 40-60% del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx) y 2-3 sesiones de entrenamiento de fuerza en días no consecutivos (Colberg et al., 2016; Riebe et al., 2015).

Esta falta de ejercicio físico puede agravar los problemas asociados a la enfermedad: bajo control de glucemia, accidentes cardiovasculares, baja calidad de vida percibida subjetivamente, perfil lipídico en sangre, pérdida de mineralización ósea y/o funcionalidad muscular, entre otros (Codella et al., 2017; Galassetti & Riddell, 2013; Riddell et al., 2017).

El hecho de que la población con DT1 presente un sedentarismo tan elevado se debe, sobre todo, a la falta de tiempo y motivación (pretextos que también señalan las personas

sin esta u otras patologías), a la falta de conocimiento del comportamiento de la glucemia cuando se realiza ejercicio físico y al miedo a posibles caídas de la concentración de glucosa en sangre o hipoglucemias durante o después del ejercicio físico (Kennedy, Narendran, Andrews, Daley, & Greenfield, 2018; Lascar et al., 2014).

Esto hace que los profesionales del sector piensen en la necesidad de proponer a las personas con DT1 métodos de entrenamiento que se ajusten a estas características y circunstancias particulares, es decir, que resulten motivantes, no exijan mucho tiempo para llevarlo a cabo y generen seguridad en los participantes en relación al comportamiento de su glucemia durante y después del ejercicio físico.

Estas características definen un tipo de entrenamiento que en los últimos años está teniendo mucha relevancia tanto en el ámbito del fitness como en el rendimiento deportivo: el entrenamiento interválico de alta intensidad o *HIIT*, según sus siglas en inglés. Este tipo de entrenamiento ha demostrado producir, al menos, tanta adherencia y disfrute como otros ejercicios físicos de carácter continuo e intensidad moderada en personas sedentarias (Oliveira et al., 2018; Vella et al., 2017). Del mismo modo parece que el HIIT reduce la aparición de hipoglucemias post-ejercicio y nocturna en comparación con el entrenamiento continuo (especialmente si se desarrolla por la mañana) y generalmente implica menor tiempo total de bajo (Farinha et al., 2017, 2018; Jacobs & Reddy, 2020; Tonoli et al., 2012).

Por estos motivos, y teniendo en cuenta que las características del HIIT encajan con las necesidades de la población con DT1 en relación a la práctica de ejercicio físico y que, además, permanece poco estudiado en Ciencias del Deporte (Boff et al., 2019; Codella et al., 2017), el presente trabajo busca indagar en los efectos crónicos que el HIIT tiene en determinadas variables de las personas con DT1 y que son factores de riesgo para el desarrollo de complicaciones asociadas a esta enfermedad, así como corroborar los efectos

positivos que este entrenamiento tiene sobre el control glucémico y la motivación hacia el ejercicio físico. Consecuentemente, a partir del estudio, se conocerán efectos que el HIIT tiene en estas personas y la prescripción de entrenamiento que los profesionales de la actividad física y el deporte realicen para esta población podrá ser más eficaz, eficiente y segura.

Marco Teórico

La Enfermedad y sus Tipos

La diabetes mellitus, según la OMS, es una enfermedad crónica grave que aparece cuando el páncreas no produce suficiente insulina o cuando el organismo no es capaz de utilizar dicha hormona de manera eficaz. La consecuencia principal de esta patología es el estado de hiperglucemia (excesiva concentración de glucosa en sangre), lo cual, puede causar complicaciones en determinadas partes y funciones del organismo y aumenta el riesgo de morir de manera prematura. Algunas de estas complicaciones pueden ser el infarto de miocardio, accidentes cerebrovasculares, insuficiencia renal, ceguera, amputación de extremidades inferiores y neuropatía. Es una de las cuatro enfermedades no transmisibles, junto con el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y las enfermedades respiratorias que los líderes mundiales pretenden reducir mediante diferentes medidas de acción global (OMS, 2016).

Las células β , situadas en el páncreas, tienen una función determinante en el organismo humano: activan un conjunto de procesos celulares cuando los niveles de glucemia en sangre aumentan, con el objetivo de sintetizar y liberar insulina a la sangre. Con esto, y mediante la acción de esta hormona, la glucosa accede a tejidos concretos mediante transportadores específicos y es utilizada para la obtención de energía mediante diferentes procesos metabólicos, llegándose así a un equilibrio en la concentración de glucosa en sangre (Katsarou et al., 2017; Silverthorn, 2013). Sin embargo, no siempre ni en todas las personas, se consigue este equilibrio, lo cual puede ser debido, entre otras cosas, a la diabetes mellitus.

Esta enfermedad puede clasificarse en los siguientes tipos, según las causas que la originan, los cuales están resumidos en la Tabla 1:

- Diabetes tipo 1: según la Asociación Americana de Diabetes, dentro de esta enfermedad se distinguen dos subtipos: la DT1a, causada como consecuencia de la destrucción autoinmune de las células β del páncreas. Este tipo representa el 95% de los casos de diabetes tipo 1; y la DT1b, de origen idiopático o desconocido que se caracteriza por carecer de evidencia autoinmune, pero aún así se muestran niveles deficientes de producción de insulina (American Diabetes Association, 2019). Actualmente no se sabe de manera concreta qué causa la enfermedad ni la forma de prevenirla. Controlar la insulina que se aplica de manera externa junto con una alimentación adecuada es indispensable para estas personas (Bluestone et al., 2010; Levy, 2016; Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014). Este es el tipo de diabetes que presenta la muestra que participó en el presente trabajo y en el cual se centra el proyecto de investigación de esta tesis doctoral.

- Diabetes tipo 2: se debe, generalmente, al uso ineficaz de la insulina por parte de determinados tejidos como el músculo esquelético o el cerebro, entre otros. Aunque también se presenta, en determinados casos, una producción ineficaz de insulina (sin carácter autoinmune). La patogénesis de la diabetes tipo 2 se asocia principalmente a un estilo de vida sedentario, sobrepeso u obesidad y factores genéticos, por lo que suele desarrollarse en edad adulta (Stumvoll et al., 2005). Este tipo es el que presenta la gran mayoría de personas con diabetes (Cano-Pérez, 2011; Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014).

- Diabetes gestacional: es un trastorno temporal que se produce durante el embarazo y aumenta el riesgo de padecer diabetes post-parto. La glucemia se suele establecer por encima de los valores normales pero por debajo de los que denotan patología. Además, es

una condición que puede complicar el embarazo y el parto (American Diabetes Association, 2019).

- Tipos específicos de diabetes debidos a otras causas: alteraciones de la tolerancia a la glucosa (ATG) y de la glucemia en ayunas (AGA): son trastornos intermedios en la transición entre glucemia normal y diabetes (normalmente tipo 2), aunque esta transición se puede evitar con correctos hábitos de vida. Esta población tiene mayor riesgo de infartos de miocardio y accidentes cerebrovasculares (OMS, 2016). La diabetes neonatal, la cual puede ser permanente o transitoria, se diagnostica en los primeros seis meses de vida y se asocia a una producción insuficiente de insulina durante la gestación a pesar de no tener marcadores genéticos relacionados con la DT1 (American Diabetes Association, 2019; Lemelman et al., 2018).

Otro tipo que entraría dentro de este grupo es la diabetes tipo MODY, denominada así por sus siglas en inglés de la diabetes de la edad adulta que se presenta en jóvenes, la cual acontece antes de los 25 años de edad y tiene una potente determinación genética. En este tipo, no existe evidencia autoinmune contra las células β ni resistencia a la insulina, características propias de la diabetes tipo 1 y 2 respectivamente. Sin embargo, en la mayoría de los casos se diagnostica, incorrectamente, como uno de esos dos tipos ya que tiene otras características comunes con ellos como la alteración de la funcionalidad de las células β (tipo 1) o la incapacidad de detectar los niveles de glucemia generándose una cantidad inapropiada de insulina (tipo 2). Dentro de este tipo existen diferentes expresiones de la enfermedad en función de las características genéticas de la persona (Amed & Oram, 2016; Bishay & Greenfield, 2016).

Por último, la diabetes autoinmune latente en edad adulta (LADA), es un tipo de diabetes en el cual se dan similitudes con la DT1 en cuanto a la actividad autoinmune contra

las células productoras de insulina pero se da en edad adulta (35-50 años generalmente) y no requiere administración exógena de insulina (al menos en los 6 primeros años post-diagnóstico) ya que la degradación de estas células es muy lento. Del mismo modo, en este tipo, se da la resistencia a la insulina propia de la DT2 y su desarrollo se relaciona con el sedentarismo y sobrepeso (Cano-Pérez, 2011; Carlsson, 2019; Laugesen et al., 2015).

Aparte de estos, existen otros tipos de diabetes minoritarios que se relacionan con infecciones y enfermedades del páncreas, inducidas por medicamentos y otros síndromes genéticos que desencadenan la enfermedad (German Diabetes Association, 2014).

En adelante, las características de la diabetes tipo 1 serán analizadas en profundidad, al ser el objeto principal de estudio de esta investigación.

Tabla 1*Resumen de las Características de los Diferentes Tipos de Diabetes*

Características	Diabetes tipo 1	Diabetes tipo 2	MODY	LADA
Etiología	Autoinmune, predisposición genética	Predisposición genética, multifactorial	Monogénica (alteración de un solo gen)	Autoinmune
Herencia	Variable	Variable	Autosoma dominante; > 3 generaciones	Variable
Patogénesis	Autoanticuerpos, deficiencia absoluta en producción de insulina	Resistencia a la insulina y desorden en la producción de insulina	Mutación en los genes de los factores de transcripción en células β	Autoanticuerpos, resistencia a la insulina
Edad típica en la que se manifiesta	Infancia-adolescencia	Adulthood	Juventud – Adulthood temprana	Adulthood
Aspectos clínicos	Poliuria, polidipsia, hiperglucemia, cetoacidosis	Hiperglucemia, complicaciones secundarias	Hiperglucemia	Poliuria, polidipsia, hiperglucemia
Enfermedades asociadas	Tiroiditis autoinmune, enfermedad celíaca	Obesidad, hipertensión, dislipidemia	Enfermedad renal	Obesidad, hipertensión, dislipidemia
Cetosis	Si	No	No	Si
Peso	Normal	Sobrepeso, obesidad	Normal	Sobrepeso, obesidad
Insulina plasmática	Muy/Totalmente deficiente	Elevada al principio, deficiente posteriormente	Deficiente	Deficiente
Autoanticuerpos	Si	No	No	Si
Resistencia a la insulina	No	Si	No	Si
Terapia	Insulina	Antidiabéticos orales	Antidiabéticos orales, insulina	Antidiabéticos orales, insulina

Nota. Tabla modificada de Petersmann et al., 2018.

Factores de Riesgo Asociados al Desarrollo de Diabetes Tipo 1

Según el último informe sobre diabetes publicado por la OMS en 2016, las causas de la enfermedad no se conocen con exactitud. Sin embargo, existen determinados factores que se asocian a su desarrollo (ver tabla 2). Estos factores se dividen en modificables, asociados al ambiente en el que se gesta y desarrolla la persona con potencial DT1; y no modificables, relacionados con aspectos genéticos. La aparición de uno o varios de estos aspectos ambientales en personas con predisposición genética a sufrir la enfermedad, desencadena la reproducción de células del sistema inmune que destruyen aquellas encargadas de la síntesis de insulina, causándose la producción ineficaz de esta hormona y por tanto, la patología diabetes tipo 1 (Bluestone et al., 2010; Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014; Wu et al., 2013).

Factores de Riesgo Modificables

Con respecto a los factores ambientales, se relaciona un mayor riesgo de sufrir DT1 con una corta duración o ausencia de lactancia materna, introducción demasiado temprana de alimentos con albúmina bovina, falta de vitamina D, determinados virus, algunos tipos de vacunas, dieta con alto contenido en gluten y mayor edad materna (Philips & Radermecker, 2012; Rewers & Ludvigsson, 2016; Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014).

A pesar de la extensa investigación, ninguno de los factores mencionados es desencadenante inequívoco de la enfermedad. Sin embargo, en una persona genéticamente susceptible de padecer DT1, la presencia de una o varias de estas circunstancias podría ser precursor de la patología (Philips & Radermecker, 2012; Rewers & Ludvigsson, 2016; Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014). La variabilidad de estos factores hace que, en última instancia, la enfermedad se pueda producir por causas muy diferentes.

Estadísticamente, se ha detectado que se produce un incremento de casos clínicos nuevos en otoño e invierno, lo que podría indicar que una infección viral puede precipitar la aparición de la DT1. Si estos virus afectan directamente a las células β pueden causar citólisis (destrucción celular) y por tanto dejar de hacer sus funciones correctamente. Por otra parte, la acción de estos virus puede desencadenar que el sistema inmune ataque, aparte de a las células infectadas, a las células β del páncreas en un proceso autoinmune. (Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014; Wu et al., 2013).

Existen, también, un conjunto de factores relacionados con la DT1 que están asociados a la dieta. Diferentes estudios han concluido que la corta o nula alimentación del neonato con leche materna y/o su sustitución por leche convencional de vaca está relacionada con el desarrollo de la enfermedad en niños con herencia genética asociada a la DT1, debido al aumento del riesgo de procesos autoinmunes en el páncreas (Knip et al., 2010; Wu et al., 2013).

La vitamina D, por su parte, también ha sido muy investigada por su relación con la DT1. Se ha demostrado que la suplementación con vitamina D en edades tempranas protege contra el desarrollo de la enfermedad debido al papel que esta vitamina desempeña en el funcionamiento del sistema inmune (Rewers & Ludvigsson, 2016; Zipitis & Akobeng, 2008). En esta línea, el consumo de alimentos con gluten y la falta de fibra también se asocian a procesos autoinmunes en las células β (Butalia et al., 2016). Otro elemento que depende de la dieta es el consumo de ácidos grasos poliinsaturados, concretamente Omega-3, ya que el defecto de este nutriente se relaciona con procesos inflamatorios que podrían ayudar a que apareciese la patología (Ricordi et al., 2019).

El desarrollo de la higiene y la sanidad han hecho que los niños estén menos expuestos a agentes infecciosos, lo cual baja el estímulo del sistema inmune y reduce la

maduración de las defensas, permitiendo que se desarrollen enfermedades como la DT1 (Drescher et al., 2015).

Otro conjunto de elementos que pueden ocasionar la patología son los que generan estrés en las células β . Estos factores son los que causan excesiva demanda de insulina (exceso de carga de glucosa, sobrepeso, traumas psicológicos...), los cuales tiene que subsanar este conjunto de células. Tal exceso de carga hace que la síntesis de insulina sea ineficaz y cause, en última instancia, apoptosis celular, es decir, destrucción celular programada por el organismo (Rewers & Ludvigsson, 2016).

Existen otros factores relacionados con el desarrollo final de la enfermedad como determinadas vacunas, la presencia de nitritos en agua, la edad de la madre y determinadas toxinas ambientales, que podrían precipitar procesos inflamatorios y autoinmunes que deriven en la enfermedad (Butalia et al., 2016; Rewers & Ludvigsson, 2016; Wu et al., 2013).

A pesar de la gran variedad de factores que han sido relacionados con la consecución de la DT1, es necesario resaltar que la presencia de uno o varios de estos factores en una persona no deriva inevitablemente en la enfermedad, ya que, como ha sido mencionado anteriormente, es necesaria la combinación de carga genética asociada a la DT1 y uno o varios factores de riesgo no modificables para que una persona desarrolle la patología.

En esta línea, el control de los factores mencionados es importante para reducir el riesgo de tener la enfermedad, ya que una persona con carga genética pero que no ha estado expuesta a dichos factores, reduce las probabilidades de desarrollarla e incluso podría lograr prevenirla totalmente (Insel & Dunne, 2016).

Factores de Riesgo No Modificables

La edad es un aspecto relevante para el desarrollo de DT1, ya que la etapa desde los 5 hasta los 14 años es en la que más casos nuevos se producen (3 de cada 4), siendo el pico entre los 10-14 años (Maahs et al., 2010; Streisand & Monaghan, 2014). Las razones por las que la enfermedad aparece de manera temprana permanecen desconocidas. A estas edades los síntomas típicos de la enfermedad (poliuria, polidipsia y polifagia) aparecen de forma repentina (en pocos días o semanas) ya que la destrucción de las células β es muy rápida (Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014).

Por su parte, raza y género, también son factores que pueden estar asociados con la probabilidad de desarrollar DT1, y aunque ambas han sido estudiadas ampliamente, no se ha esclarecido exactamente la relación que tienen con la enfermedad. En referencia a la raza, las personas blancas de origen no hispano son las personas con mayor probabilidad de desarrollar la enfermedad. Después, las razas más propensas a tener DT1 son los afroamericanos y los hispanos. Finalmente, las razas con menos probabilidad de sufrir la patología son los asiáticos. A pesar de tener estos datos, la causa de que unas personas tengan más predisposición que otras a desarrollar DT1 permanece desconocida, y no se sabe si lo que los determina es su carga genética, las características ambientales de las zonas geográficas en las que viven o la medida en que interactúan ambos factores. (Atkinson et al., 2014; Mayer-Davis et al., 2009).

Respecto al género, y teniendo en cuenta el aspecto racial, los hombres de las regiones con más riesgo de sufrir DT1 (personas de origen europeo) son más propensos a tener la enfermedad (ratio 1-7). En cambio, en zonas con bajo riesgo (poblaciones no europeas), son las mujeres las que, estadísticamente, sufren más la enfermedad, con un ratio muy variable según zonas. De nuevo, se desconoce qué determina exactamente que

haya diferencias entre hombres y mujeres en esta enfermedad (Maahs et al., 2010; Mauvais-Jarvis, 2015).

La parte genética de la enfermedad ha sido muy investigada, identificándose determinados genes relacionados con el desarrollo de DT1 (Philips & Radermecker, 2012). Analizando parentescos familiares, se ha constatado que tener un familiar de primer grado con DT1 aumenta el riesgo de padecer la enfermedad. Este riesgo varía en función del vínculo con dicho familiar. Por ejemplo, los hermanos gemelos tienen un nivel de concordancia de entre el 15-33%; tener el padre con DT1 se relaciona con un 8% de probabilidad de adquirir la enfermedad y un hermano o la madre con DT1 supone un 5% de riesgo (Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014; Wu et al., 2013).

En un aspecto más fisiológico, la microbiota intestinal aparte de encargarse del metabolismo de los carbohidratos (CHO) y lípidos, tiene una función determinante en la especialización celular del sistema inmune, un desarrollo deficiente en esta maduración en las defensas del organismo también se relaciona con DT1 (Siljander et al., 2019).

El peso del bebé al nacer y su crecimiento, por su parte, pueden determinar que desarrolle la enfermedad en un futuro, ya que un mayor peso y un crecimiento muy rápido entre los 12 y los 18 meses se relaciona con resistencia a la insulina y exceso de necesidad de esta hormona que finalmente, pueden producir procesos autoinmunes (Ljungkrantz et al., 2008).

Tabla 2*Factores de Riesgo para el Desarrollo de DT1*

Etapa prenatal	Etapa post-natal	Precursores de la progresión
Genética	Virus	Virus
Mayor peso del bebé	Microbiota alterada	Sobrepeso
Mayor edad de la madre	Consumo de leche de vaca en lugar de materna y determinados cereales	Exceso de consumo de glucosa
Virus	Dieta pobre en Omega-3 y/o vitamina D	Presencia de nitritos en la dieta
Dieta pobre en vitamina D de la madre		Pubertad
		Estrés psicológico
		Alta velocidad de crecimiento
		Resistencia a la insulina



Nota. Factores de riesgo que llevan al desarrollo de diabetes tipo 1. Es necesaria la combinación de factores ambientales y genéticos para la consecución de la enfermedad. Extraído de Rewers & Ludvigsson, 2016.

Fisiopatología de la Diabetes Tipo 1

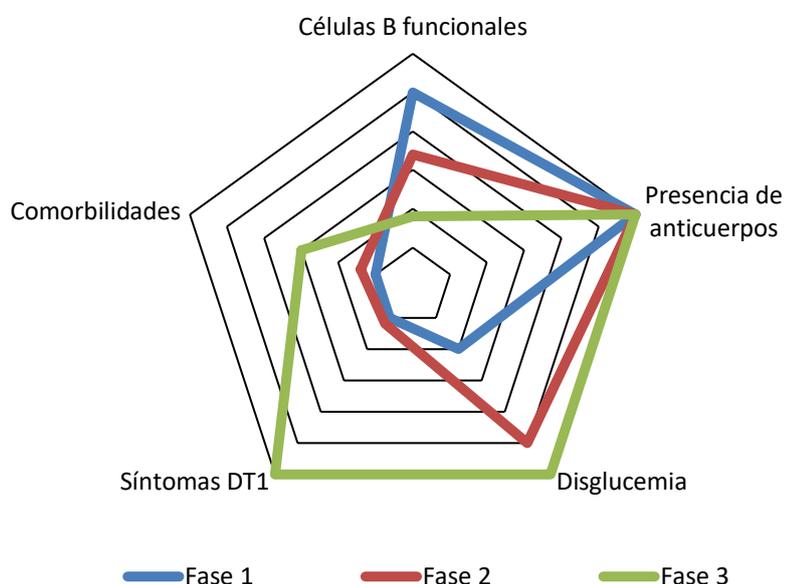
La deficiencia de insulina, propia a de la DT1, se debe a la interacción entre factores genéticos y ambientales, la cual desemboca en la destrucción de las células que producen esta hormona mediante un proceso autoinmune, es decir, el organismo las elimina al percibir erróneamente que son dañinas. En consecuencia, el organismo no es capaz de detectar los niveles altos de glucemia y tampoco de producir la insulina necesaria para mantener esos niveles en rangos fisiológicamente aptos (Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014).

Los rasgos genéticos se caracterizan por la alteración de un conjunto de genes ubicados en el cromosoma 6 cuya función es identificar las moléculas propias del organismo y las extrañas o invasoras. Una persona con esta carga genética, generalmente, requiere de uno o varios factores ambientales para finalmente activar el sistema inmune e iniciar el proceso de destrucción de las células β , como se ha mencionado anteriormente.

Cuando la combinación de la genética y los factores ambientales empieza a desarrollarse, el organismo pasa por diferentes fases hasta que finalmente la enfermedad es diagnosticada (figura 1). Estas fases van desde la detección de autoanticuerpos hasta los síntomas de hiperglucemia continuada, pasando por la destrucción de las células β e intolerancia a la glucosa o disglucemia (American Diabetes Association, 2019; Katsarou et al., 2017).

En la primera fase de la enfermedad se encuentran las personas que han desarrollado autoanticuerpos, que son células del sistema inmune que atacan a las propias del organismo. En el caso de la DT1, a las células β . En esta fase, aún no se ha alterado significativamente la regulación de la glucemia.

En la siguiente fase los anticuerpos que atacan a las propias células ya han empezado a actuar y producen intolerancia a la glucosa, la cual se define como: glucemia en ayunas ≥ 126 mg/dl; hemoglobina glicosilada $\geq 6,5\%$ y/o glucosa ≥ 200 mg/dl tras un test oral de tolerancia a la glucosa de 75g. En este nivel existe un 60% de probabilidad de desarrollar los síntomas de la DT1 en dos años y un 75% en 4-5 años por pérdida de células β funcionales, sin embargo, la sintomatología de la enfermedad permanece ausente. Esta fase puede durar más de un año. Finalmente, en la fase 3, esa pérdida celular causa los síntomas propios de la diabetes tipo 1, la cual es diagnosticada y se pueden empezar a desarrollar enfermedades asociadas a las DT1 (American Diabetes Association, 2019; Katsarou et al., 2017).

Figura 1*Características de la DT1 en sus Diferentes Fases de Desarrollo*

Nota. El gráfico representa cómo va cambiando la funcionalidad de las células B, la presencia de anticuerpos, la irregularidad de la glucemia (disglucemia), los síntomas y el desarrollo de enfermedades relacionadas o comorbilidades a medida que avanza la enfermedad.

Aspectos Clínicos

El estado de total déficit de insulina en el organismo en la DT1, genera un estado de hiperglucemia continuado que desencadena diferentes síntomas y que solo puede subsanarse con la inyección exógena de dicha hormona. Estos síntomas suelen ser: poliuria, es decir, desmesurada micción con el objetivo de expulsar a través de la orina el exceso de glucosa en sangre; exagerada necesidad de beber agua (polidipsia) para reponer las cantidades excretadas de agua con la orina; polifagia o necesidad incontenible de comer debido, de nuevo, a la necesidad de reponer la pérdida de sustratos energéticos por la orina, en este caso, glucosa. Otros síntomas que pueden aparecer son vómitos, pérdida inexplicable de peso, insomnio o visión borrosa. La gran mayoría de nuevas personas

diagnosticadas (95%) acuden a centros sanitarios por estos síntomas antes de conocer la enfermedad. El resto de personas descubren la enfermedad por controles rutinarios de glucemia (Katsarou et al., 2017).

Tras conocer el diagnóstico, las personas con DT1 inician un proceso de adaptación que consiste en coordinar la insulina que se administran de manera exógena en función de su alimentación y actividad física (DiMeglio et al., 2018). Después del inicio de tratamiento de la enfermedad con insulina se produce, en ciertos casos, un periodo denominado “luna de miel” en el que la funcionalidad de las células β aumenta y se requiere una menor inyección de insulina. Los mecanismos de este cambio fisiológico, el cual puede durar desde una semana a varios años, aún no se han determinado, pero la genética parece tener un papel determinante (Moosavi et al., 2017).

Complicaciones de la Diabetes Tipo 1

Las complicaciones de la DT1 se dividen en dos tipos: microvasculares (lesiones en los vasos sanguíneos pequeños) y macrovasculares (lesiones en los vasos sanguíneos más grandes).

Las complicaciones microvasculares se manifiestan como retinopatías, lesiones oculares que pueden ocasionar ceguera; nefropatías, que degeneran en insuficiencia renal y neuropatías, afecciones nerviosas con pérdida de función sensorial (Feldman et al., 2019), que entre otras cosas, pueden desembocar en lesiones que requieran amputación de miembros inferiores. También pueden afectar a otros órganos como el corazón o el cerebro. Estas enfermedades, que son específicas de la DT1 se deben, sobre todo, al estado prolongado de hiperglucemia, ya que las células de los tejidos oculares, nerviosos y renales son vulnerables a concentraciones extracelulares elevadas de glucosa, debido a que no son

capaces de regular su entrada. Si hay exceso de glucosa intracelular se genera un alto estrés oxidativo (producción de radicales libres) que pueden alterar el correcto funcionamiento de la célula (Katsarou et al., 2017). Por ello, un control eficaz de la glucemia es fundamental para prevenir la aparición de estas patologías (DiMeglio et al., 2018).

Los problemas macrovasculares asociados a la DT1 son aterosclerosis (depósito de grasas en las arterias) y trombosis (coágulos de sangre) en el corazón, arterias coronarias, periféricas y el cerebro. Estas enfermedades, no son específicas de la DT1, pero las personas con la patología tienen un riesgo entre dos y diez veces mayor que personas sin la enfermedad de padecer estas complicaciones cardiovasculares (Atkinson et al., 2014; Katsarou et al., 2017). Esto se debe a los procesos inflamatorios que se desarrollan en el endotelio vascular y la disfuncionalidad que genera en el transporte del colesterol (Leroux et al., 2014; Schofield et al., 2019).

El riesgo de padecer estas lesiones se atenúa considerablemente con un buen control de la glucemia, aunque menos que el de las complicaciones microvasculares, ya que se asocian también a factores genéticos y a factores de riesgo asociados como la hipertensión, sobrepeso, sedentarismo, malos hábitos alimenticios, dislipidemia y tabaquismo, a pesar de que el efecto de la hiperglucemia es determinante para el desarrollo de las enfermedades cardiovasculares.

Estas enfermedades son la primera causa de muerte prematura en las personas con DT1 y crecen entre esta población más rápidamente que en las personas sin la patología (Costacou, 2017). Las personas con DT1, tienen entre 8-13 años menos de esperanza de vida que las personas sin la enfermedad, ya que cuando aparecen estos eventos cardiocirculatorios, son más agresivos (Atkinson et al., 2014; DiMeglio et al., 2018; Katsarou et al., 2017).

Teniendo en cuenta el género, los hombres tienen mayor predisposición a sufrir las consecuencias microvasculares de la DT1, en cambio, las mujeres son más propensas a tener eventos cardiovasculares (macrovasculares) asociados a la enfermedad (Maric-Bilkan, 2017; Schofield et al., 2019).

La hiperglucemia ocasionada por la enfermedad, además, influye negativamente en otros factores que, en determinados valores, incrementan el riesgo de sufrir accidentes cardiovasculares. Algunos de estos factores han sido analizados en la presente investigación, por su dicha relación con los eventos cardiovasculares y su potencial variación con el entrenamiento, que generaría la prevención de los mencionados problemas de salud.

Por otra parte, la DT1 influye en otros parámetros que pueden generar problemas a nivel de funcionalidad física y psicológica. Por ello, estos parámetros también fueron estudiados, con el objetivo de comprobar si el ejercicio físico, y en concreto el tipo HIIT, genera beneficios en dichos parámetros.

En resumen, las variables que fueron analizadas en el presente trabajo de investigación abordan tres ámbitos fundamentales para las personas con DT1: prevención de enfermedades cardiovasculares, mejora de la funcionalidad física y aumento del bienestar psicológico.

Factores de Riesgo Cardiovascular

Consumo Máximo de Oxígeno (VO_2 máx)

La condición física cardiorrespiratoria (VO_2 máx) se asocia con varios parámetros de salud, incluyendo las enfermedades cardiovasculares. Un bajo consumo máximo de oxígeno se relaciona con una mayor probabilidad de sufrir problemas cardíacos (Loprinzi & Pariser, 2013). Teniendo en cuenta que el sedentarismo se asocia con bajos niveles de VO_2 máx, estas personas físicamente inactivas tienen mayor riesgo cardiovascular (Moraes-Silva et al., 2017).

Por otra parte, las personas con DT1, por limitaciones centrales en la precarga ventricular, volumen sistólico y gasto cardíaco junto con las periféricas (disfunción vascular) causadas por la enfermedad, tienen un menor VO_2 máx que personas con su misma edad, antropometría y nivel de actividad física (Rissanen et al., 2015).

El hecho de que las personas con DT1 presenten mayores índices de sedentarismo que las personas sanas y que, por defecto, tienen un menor VO_2 máx con las mismas condiciones que personas sin la patología, hace que el ejercicio físico sea una herramienta fundamental en la vida de estas personas para prevenir enfermedades cardiovasculares.

Por ello, el VO_2 máx es uno de los parámetros que se ha analizado en esta investigación, ya que a pesar de tener un importante componente genético, se puede mejorar a través de diferentes estrategias de entrenamiento, entre ellas el entrenamiento de resistencia interválico de alta intensidad (Ito, 2019; Williams et al., 2017), el cual ha sido utilizado en este trabajo.

Composición Corporal (CC)

La prevalencia de personas con DT1 y con sobrepeso u obesidad ($IMC > 25 \text{ kg/m}^2$) se ha incrementado mucho en los últimos años y ya supera el 50%, debido a los tratamientos con insulina, los cuales ralentizan el metabolismo, estimulan la lipogénesis e inhiben procesos catabólicos causando acumulación de tejido adiposo; y hábitos de vida no saludables como el sedentarismo y/o una dieta desequilibrada (Brazeau et al., 2012; Mottalib et al., 2017). El sobrepeso y la obesidad se relacionan con una mayor probabilidad de problemas cardiovasculares por causas multifactoriales. Entre estos factores destacan las comorbilidades asociadas al exceso de tejido adiposo como la hipertensión, la dislipidemia o apnea del sueño y los procesos inflamatorios que desencadena y que originan disfunción endotelial e hipercoagulabilidad entre otras cosas, aspectos asociados a enfermedades cardiovasculares (Mandviwala et al., 2016; Yeh et al., 2019).

El ejercicio físico es una herramienta científicamente contrastada en este sentido y considerada fundamental en la prevención y el tratamiento del sobrepeso y la obesidad (Swift et al., 2014). Debido a que el entrenamiento interválico de alta intensidad se asocia también con la mejora en la composición corporal en personas sin patologías, este parámetro ha sido analizado en esta investigación para conocer su efecto en la prevención del sobrepeso y la obesidad, que está incrementándose en la población con DT1 (Keating et al., 2017; Mottalib et al., 2017).

Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC)

En los últimos años, ha crecido la evidencia acerca de la importancia del sistema nervioso autónomo (SNA), el cual controla las funciones involuntarias del organismo, en determinadas enfermedades. Este sistema está formado fundamentalmente por dos partes:

el sistema nervioso simpático (SNS), asociado a la movilización de energía, la adaptación al estrés y la actividad física (Sorota, 2014); y el parasimpático (SNP), relacionado con las acciones fisiológicas reconstituyentes y antagónico al SNS (Thayer et al., 2010). Ambas partes interactúan continuamente de manera no lineal en función de estímulos internos y externos para regular las funciones fisiológicas del organismo.

Esta relación entre el SNS y el SNP, determina, entre otras cosas, cómo actúa el nodo sinoauricular, que es la estructura que genera automáticamente los impulsos eléctricos que causan los latidos cardíacos. El tiempo que transcurre entre dos latidos consecutivos no siempre es el mismo, el corazón no es un metrónomo, y este factor da mucha información sobre el estado en el que se encuentra el organismo (McCraty & Shaffer, 2015).

La fluctuación en el tiempo que pasa entre los latidos del corazón se denomina variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) y proporciona información sobre la interacción entre el SNP y el SNS (Cygankiewicz & Zareba, 2013). Cuando el desequilibrio entre las dos partes del SNA tiende al predominio simpático reduciendo el tono parasimpático durante periodos continuados de tiempo, la VFC se reduce y el organismo se encuentra en mayor riesgo de accidente cardiovascular que si predominase la acción parasimpática y la VFC fuese mayor (mayor irregularidad en el tiempo que transcurre entre los latidos del corazón), debido a cambios funcionales y estructurales que la hiperactividad del SNS genera en el organismo (Taralov et al., 2015; Thayer et al., 2010). De este modo, la VFC puede indicar disfuncionalidad autonómica cardíaca e identificar potenciales problemas cardiovasculares en personas con una baja VFC (McCraty & Shaffer, 2015; Ramos, Dalleck, Borrani, Beetham, Mielke, et al., 2017; Taralov et al., 2015).

Varios estudios han determinado que las personas con DT1 tienen una VFC disminuida, incluso en ausencia de neuropatía (Macartney et al., 2020), en relación a

personas sin la patología con las mismas características (Anaruma et al., 2016; McGinn & Kenny, 2014; Silva et al., 2017; Wilson et al., 2017).

Los mecanismos que causan que la VFC tienda al predominio simpático en estas personas son complejos, pero principalmente se asocian a disfunción endotelial y de los barorreceptores de los vasos sanguíneos (Cygankiewicz & Zareba, 2013), causados por el estado continuado de excesiva concentración de glucosa en sangre que hace que las mitocondrias celulares generen radicales libres y productos glicosilados tóxicos que producen daño oxidativo en los vasos sanguíneos, lo que a su vez genera dicho funcionamiento anómalo (Agashe & Petak, 2018). Esta alteración de los vasos sanguíneos desencadena la sobreactivación crónica del SNS, que es uno de los mayores factores que contribuyen al desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Lambert & Esler, 2016; Ramos, Dalleck, Borrani, Beetham, Mielke, et al., 2017; Tsioufis & Dimitriadis, 2019).

El ejercicio físico, y en concreto, el entrenamiento aeróbico de moderada intensidad ha demostrado causar, de manera crónica, una reducción en la activación simpática en favor de la parasimpática, aumentando así la variabilidad de la frecuencia cardiaca en personas con DT1 y en consecuencia, el riesgo de sufrir accidentes cardiovasculares se reduce (Voulgari et al., 2013). Debido a que existe precedente en la prevención de problemas cardiovasculares con ejercicio físico aeróbico (reduciendo la sobreactivación simpática), que el HIIT ha demostrado mejorar la función autonómica cardiaca en personas sedentarias y que ambas modalidades tienen efectos similares en muchos factores fisiológicos, entre ellos, la función vascular (Abreu et al., 2018; Ramos et al., 2015), en este trabajo se analizó la VFC de los participantes para comprobar si un periodo de entrenamiento tipo HIIT tiene influencias en el control autonómico cardiaco y en consecuencia contribuye a reducir el riesgo de sufrir problemas cardiovasculares en pacientes con DT1.

Glucemia en Ayunas

Las personas con DT1 suelen tener una glucemia en ayunas variable, pero generalmente presentan valores superiores a 100mg/dl, lo cual indica una glucemia anormalmente elevada considerando un ayuno de 7-8 horas (Tébar Massó & Escobar Jiménez, 2014). Valores elevados de glucemia en ayunas se asocian con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, ictus y enfermedades renales potencialmente mortales (Bancks et al., 2019; Moradi-Lakeh et al., 2017; Park et al., 2013). El ejercicio físico ha evidenciado tener efectos positivos en la glucemia en ayunas en personas con DT1 (Boniol et al., 2017). El HIIT, concretamente, ha mostrado tener efectos positivos en la glucemia en ayunas en DT1 (Farinha et al., 2018). Del mismo modo, el HIIT ha resultado efectivo en la reducción de la glucemia en ayunas en diabetes tipo 2 (Jelleyman et al., 2015). Por ello, en este estudio se analizó la glucemia en ayunas de los participantes para conocer si un protocolo 1:2 (el tiempo de trabajo a alta intensidad es la mitad que el tiempo de descanso), asequible para personas sedentarias, es suficiente para mejorar este parámetro en personas con DT1 y contribuir a reducir el riesgo cardiovascular.

Factores de Riesgo Funcional

Fuerza en Miembros Inferiores

La diabetes tipo 1 también está asociada con una fuerza muscular menor y una pérdida de masa muscular más rápida que personas de características similares pero sin la patología, ya incluso en la adolescencia, la cual se va agravando con el paso de los años, incluso sin neuropatía (Celes et al., 2017; Maratova et al., 2018; Monaco et al., 2019). Generalmente, este déficit en la fuerza muscular se produce de una manera multifactorial y progresiva. El hecho de que se inicie a edades tempranas, podría indicar que la disfunción

muscular es una complicación diabética primaria, viéndose condicionada negativamente si existe neuropatía (Krause et al., 2011; Monaco et al., 2019).

Los factores mencionados son fundamentalmente la pérdida de funcionalidad de la mitocondria en la fibra muscular, las limitaciones funcionales de las proteínas musculares debido al estado de hiperglucemia, la regulación hormonal alterada, disfunción neural en el reclutamiento de fibras musculares y la acción de radicales libres sobre genes relacionados con el desarrollo muscular, lo cual desemboca en alteraciones negativas en el fenotipo muscular, la capacidad contráctil y de regeneración del músculo (Krause et al., 2011; Monaco et al., 2019).

Estos aspectos afectan, sobre todo, a la musculatura de los miembros inferiores, comenzando en la parte distal y progresivamente desarrollándose en la proximal (Monaco et al., 2019). Debido a que niveles bajos de fuerza en los miembros inferiores se asocian con limitaciones funcionales y discapacidad física (Volaklis et al., 2015), en este trabajo se analizó, si tras el periodo de entrenamiento con HIIT, se habían producido cambios en la velocidad de movimiento ante una determinada carga, y por lo tanto, cambios en la fuerza.

Equilibrio Dinámico

Dos aspectos que también afectan a las personas con diabetes tipo 1 son la pérdida de equilibrio, definido como la capacidad de mantener una postura deseada al proyectar el centro de gravedad dentro de la base de sustentación mientras el cuerpo se mueve (S. K. Lee & Ahn, 2018) y la dorsiflexión de tobillo, que es el movimiento mediante el cual los dedos de los pies se aproximan a la pierna por la flexión del tobillo (Basnett et al., 2013).

Varios factores causan que el equilibrio se vea afectado negativamente en personas con diabetes debido al estado de hiperglucemia, entre ellos, la disfunción del sistema

vestibular, la retinopatía y la neuropatía periférica, las cuales son complicaciones propias de la DT1. Sin embargo, el equilibrio dinámico puede verse comprometido incluso en ausencia de complicaciones diagnosticadas (Kukidome et al., 2017; Turcot et al., 2009). La pérdida de equilibrio en estas personas se asocia principalmente con limitaciones biomecánicas, sensoriales, orientación espacial, el procesamiento cognitivo y/o el control dinámico (Turcot et al., 2009), lo cual se relaciona con riesgo de caídas y pérdida de funcionalidad (Camargo et al., 2015; L. J. D'Silva et al., 2016).

Dorsiflexión de Tobillo

Por su parte, la dorsiflexión de tobillo también se ve limitada en personas con DT1 debido a continuados estados de hiperglucemia que generan productos finales de glicación avanzada (moléculas de glucosa que alteran la función de proteínas y lípidos al adherirse a ellos) que cambian las propiedades mecánicas de las fibras musculares, tendinosas y ligamentosas, reduciendo la elasticidad y aumentando la rigidez. Esta limitación de movimiento, se puede producir incluso sin la presencia de neuropatía en pacientes jóvenes (Francia et al., 2018; Searle et al., 2017, 2018) y es un factor determinante en el desarrollo de úlceras en la planta de los pies, ya que provoca que el talón se eleve demasiado pronto en la fase de apoyo al andar, generando excesiva presión en la zona de las cabezas de los metatarsos (Francia et al., 2015). Estas heridas, limitan la capacidad de andar de las personas con DT1 y en consecuencia su funcionalidad (Rao et al., 2006; Searle et al., 2017). Además, problemas como la fascitis plantar, esguince de tobillo o tendinopatía rotuliana tienen más probabilidades de aparecer con una reducida dorsiflexión de tobillo (Rabin et al., 2015).

La biomecánica en ciclismo indica que a mayor intensidad de pedaleo, se consigue mayor rango de movimiento de dorsiflexión (Bini & Diefenthaler, 2010; Holliday et al.,

2019). Consecuentemente, la dorsiflexión de tobillo fue analizada antes y después del periodo de entrenamiento para constatar si el tiempo empleado en el cicloergómetro en la que realizaron el HIIT influyó en la movilidad de esta articulación. De la misma manera, y debido a que la dorsiflexión de tobillo se relaciona con el equilibrio dinámico (Kosik et al., 2019; Nakagawa & Petersen, 2018) y que el HIIT ha revelado mejorar aspectos del equilibrio en otras poblaciones (Bellumori et al., 2017), se midió esta capacidad para comprobar si el entrenamiento la modificó.

Factores de Riesgo Psicológico

Calidad de Vida

La calidad de vida, definida como un constructo multidimensional que incluye la percepción subjetiva del bienestar físico, emocional y social que incorpora la satisfacción y la felicidad personal, generalmente, es percibida por las personas con DT1 de manera más negativa que las personas sin la enfermedad debido al tratamiento diario y las complicaciones derivadas de la patología (Katsarou et al., 2017; Nielsen et al., 2016).

Con esta enfermedad, una mejor calidad de vida se asocia a un mejor seguimiento del tratamiento y a una regulación de la glucosa más correcta (Katsarou et al., 2017), en cambio la persistencia de una baja calidad de vida se relaciona con ansiedad, depresión y estrés (Martinez et al., 2018). El ejercicio físico regular aplicado en personas con DT1 ha mostrado tener efectos positivos en la percepción de la calidad de vida, sobre todo en niños y jóvenes (Absil et al., 2019; Anderson et al., 2017; Mutlu et al., 2015; Nazari et al., 2020), por ello en la presente investigación, se analizó el efecto que un programa de entrenamiento de carácter interválico tiene sobre la calidad de vida de personas con diabetes tipo 1.

Calidad del Sueño

La calidad y duración del sueño de las personas con diabetes tipo 1 se ve afectada fundamentalmente por la hipoglucemia nocturna. Tanto por el miedo a que suceda como a las consecuencias que tiene cuando ocurre (Barnard et al., 2016). Una baja calidad del sueño se asocia con irregularidades metabólicas, mayor prevalencia de enfermedades cardiovasculares, resistencia a la insulina, baja funcionalidad diaria y baja percepción de bienestar (Barnard et al., 2016; Martyn-Nemeth et al., 2018). Por ello, es fundamental que las personas con DT1 lleven a cabo estrategias que reduzcan la hipoglucemia nocturna y aumenten su seguridad en la regulación de la glucemia para mejorar el descanso nocturno.

El ejercicio físico aeróbico y de fuerza, ha demostrado tener efectos positivos en la calidad y duración del sueño en personas sin patologías y con insomnio (Banno et al., 2018; Dolezal et al., 2017), sin embargo, en personas con DT1, el ejercicio aeróbico puede ser una herramienta contraproducente al aumentar la hipoglucemia nocturna y empeorar la calidad del sueño en estas personas (Jacobs & Reddy, 2020; Reddy et al., 2018). El método de entrenamiento utilizado en este trabajo (HIIT), ha mostrado reducir la hipoglucemia post-ejercicio físico y nocturna (Scott, Cocks, et al., 2019; Scott, Shepherd, Strauss, et al., 2019), por lo que podría ser una estrategia útil para obtener los beneficios del ejercicio físico en la mejora de la calidad del sueño sin incurrir en la hipoglucemia que interfiera en esa adaptación. Por ello, la calidad del sueño fue analizada en esta investigación.

Disfrute del Ejercicio Físico

Una de las razones por la que, a priori, las personas con DT1 no hacen suficiente ejercicio físico es el reducido disfrute que perciben practicándolo, a pesar de conocer los grandes beneficios que genera en la salud (Lascar et al., 2014). El HIIT ha evidenciado ser un

método de entrenamiento que genera mayor disfrute en personas sedentarias frente a sistemas de entrenamiento convencionales de moderada intensidad y larga duración (Batrakoulis et al., 2019; Heisz et al., 2016; Thum et al., 2017). Por ello, en este trabajo se analizó el disfrute hacia el ejercicio físico tipo HIIT con el objetivo de comprobar si el entrenamiento modificó la percepción de disfrute de personas sedentarias con DT1 hacia el ejercicio físico.

Motivación Hacia el Ejercicio Físico

Las personas con DT1 indican la falta de motivación como uno de los factores principales para no practicar ejercicio físico de manera regular (Lascar et al., 2014). Esto hace que la prescripción de entrenamiento realizada a personas sedentarias con DT1 deba constar de ejercicios físicos que les resulten atractivos y les generen adherencia.

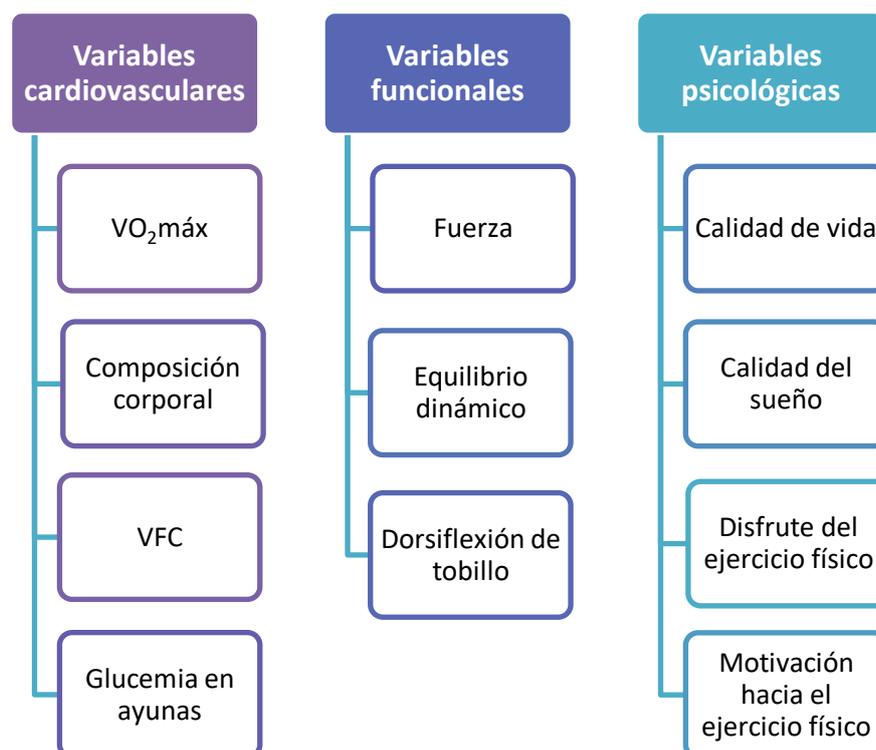
Según la teoría motivacional de la autodeterminación (TAD) (Ryan & Deci, 2000), la cual analiza el grado en el que las personas realizan sus acciones de forma voluntaria o autodeterminada, existen tres necesidades psicológicas básicas (autonomía, competencia y relaciones sociales). Esta teoría establece la motivación como un continuo que recoge los diferentes grados de autodeterminación de la conducta. La satisfacción de dichas necesidades influye en el tipo de motivación que las personas tendrán hacia una determinada conducta, en este caso, practicar ejercicio físico. A medida que la satisfacción de las necesidades psicológicas básicas se incrementa, es decir, la persona se siente más competente en la tarea, percibe mayor autonomía en su desarrollo y tiene buenas relaciones sociales en el entorno que se lleva a cabo, la autodeterminación aumenta y la regulación de la conducta se postula más intrínseca, es decir, se realiza ejercicio físico por el placer que se experimenta al practicarlo. Por el contrario, cuando las necesidades

psicológicas mencionadas se ven frustradas, la autodeterminación se reduce y la motivación adquiere una regulación más externa, lo que indica que el ejercicio físico se realiza por recompensas o agentes externos o desaparece (desmotivación), lo cual lleva al abandono de la conducta (Moreno Murcia, 2011).

El HIIT ha demostrado causar un incremento en la motivación autodeterminada en determinadas poblaciones sin patologías (D. M. Y. Brown et al., 2016; Burn & Niven, 2019). Esto indica, que podría ser una estrategia de entrenamiento útil para superar la falta de motivación que las personas con DT1 muestran como barrera para la práctica de ejercicio físico. Por ello, en el presente estudio se analizaron las características de la motivación de los participantes hacia el ejercicio físico en base a la teoría de la autodeterminación y a las categorías motivacionales que dicha teoría recoge.

Figura 2

Variables Analizadas en la Presente Investigación



Epidemiología de la Diabetes Tipo 1

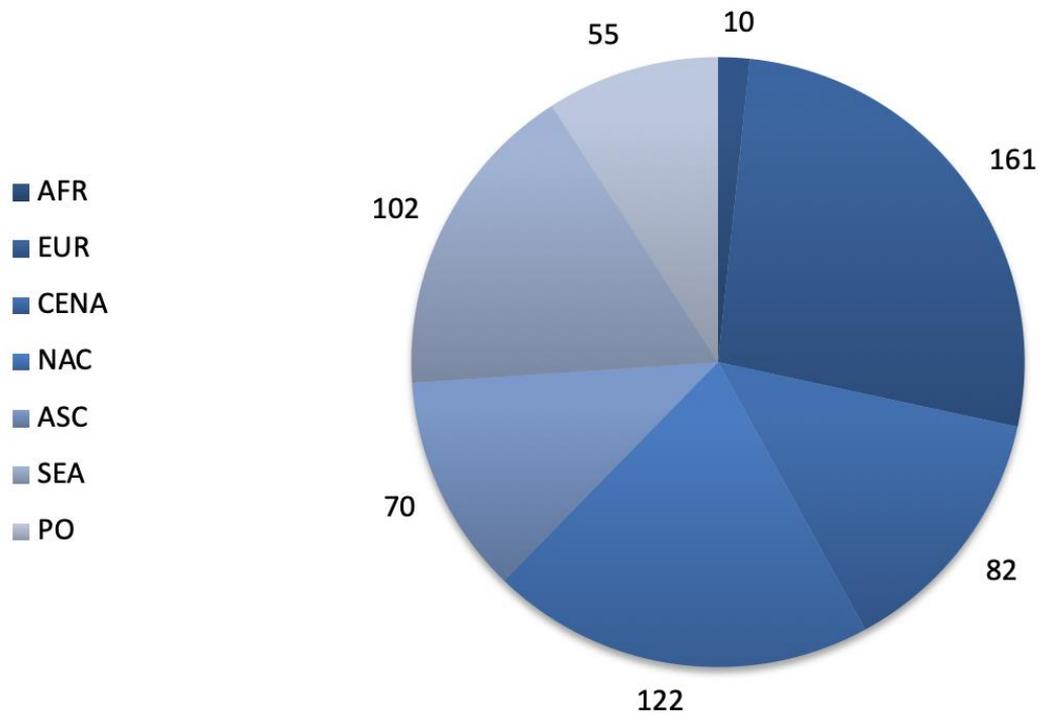
Estadísticamente, la diabetes muestra datos muy significativos en relación a la prevalencia, incidencia y gasto económico. Según la Federación Internacional de la Diabetes y la OMS, a nivel mundial, en 2019 se estimó que 463 millones de adultos (20-79 años) padecían diabetes en el mundo (un 9,3% de la población mundial en ese grupo de edad), a diferencia de 1980, que la sufrían 108 millones. Para 2030, se esperan casi 600 millones de casos. En ese mismo año, en 2019, la diabetes y sus complicaciones causaron 4,2 millones de muertes, de las cuales, casi la mitad se produjeron en personas menores de 60 años, y es una tendencia al alza (International Diabetes Federation, 2019; OMS, 2016).

A pesar de que los estudios que analizan la prevalencia global no diferencian entre los tipos de diabetes, ya que el muestreo se hace con personas que tienen niveles de glucemia anormalmente elevados sin tener en cuenta el origen de esa condición (OMS, 2016), se estima que la prevalencia mundial de la diabetes tipo 1 es del 5-10% del total de casos de diabetes en adultos. En total, se asume que entre 25-45 millones de adultos (>20 años) conviven con la patología en el mundo, y la previsión también tiende al alza, ya que se espera que para 2030, entre 30 y 60 millones de personas en el mundo sufran DT1, unas cifras muy alarmantes. En menores de 20 años, la gran mayoría de las personas con diabetes son tipo 1, considerándose que existen más de un millón de niños y adolescentes con esta enfermedad en el mundo (ver figura 3).

La mejora en los tratamientos es fundamental para que desde el debut en la enfermedad, los jóvenes aprendan a controlar la enfermedad y evitar así las importantes complicaciones que la DT1 genera en el organismo y la muerte prematura.

Figura 3

Prevalencia (en Miles de Personas) por Regiones Mundiales de Diabetes Tipo 1 en Niños y Adolescentes (0-14 años) en 2019



Nota. AFR: África, EUR: Europa, CENA: Centro-este y norte de África, NAC: Norte América y Caribe, ASC: Centro-sur América, SEA: Sur-este Asia, PO: Pacífico oeste. Extraído de IDF Atlas, Federación Internacional de Diabetes, 9 edición.

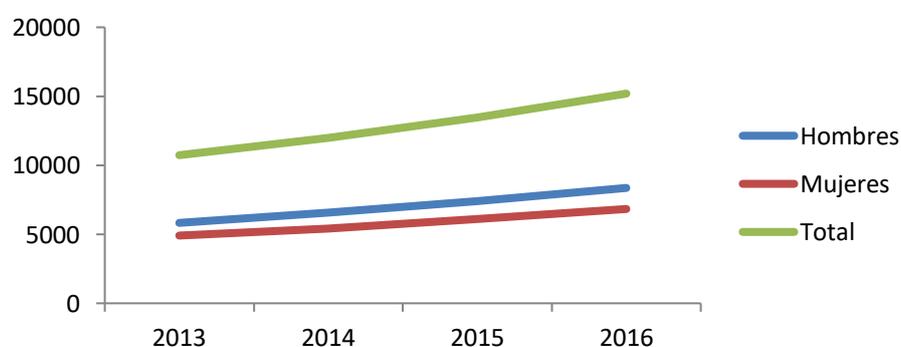
Del mismo modo, se ha estimado que casi 130.000 niños y adolescentes son diagnosticados como nuevos casos DT1 cada año, siendo el rango de edad entre 10-14 años, la época en la que más incidencia se registra (Diaz-Valencia et al., 2015). La mayoría de países desarrollan las valoraciones epidemiológicas de diabetes tipo 1 en niños y adolescentes, al ser el tipo que más afecta a este rango de edad. Por ello las organizaciones mundiales se centran en ellos al publicar los datos que se refieren a DT1. No obstante, hay que destacar que los datos de prevalencia e incidencia en DT1 en menores de 20 años son muy dispares en función de la región mundial que se analice, ya que por ejemplo, en Europa

la prevalencia de niños y adolescentes con DT1 es de más de 160.000 personas y la incidencia supera los 25 casos nuevos por cada 100.000 habitantes cada año, en esa edad. En cambio, en Sudamérica y América Central la prevalencia no pasa de los 70.000 menores de 20 años y la incidencia es de 10 casos nuevos/100.000 habitantes al año. Es importante destacar, que para el año 2030 se espera que la población con DT1 se incremente un 25% (International Diabetes Federation, 2019; OMS, 2016).

En España, según la Sociedad Española de Diabetes, se estima que unas 90.000 personas viven con DT1 aproximadamente (Rojo-Martínez et al., 2020), dándose 18 casos nuevos por cada 100.000 habitantes al año (Conde Barreiro et al., 2014). De estas personas, alrededor de 15.000 (unos 1200 niños y adolescentes) pertenecían en 2016 a la Comunidad Valenciana (ver figura 4) según la Conselleria de Sanitat, cifra, que actualmente podría ser mayor ya que la tendencia desde 2013 es significativamente incremental. Es necesario destacar que son cifras aproximadas debido a las complejas metodologías estadísticas necesarias para indicar cifras concretas de la prevalencia e incidencia de la DT1.

Figura 4

Número de Personas con Diabetes Tipo 1 en la Comunidad Valenciana



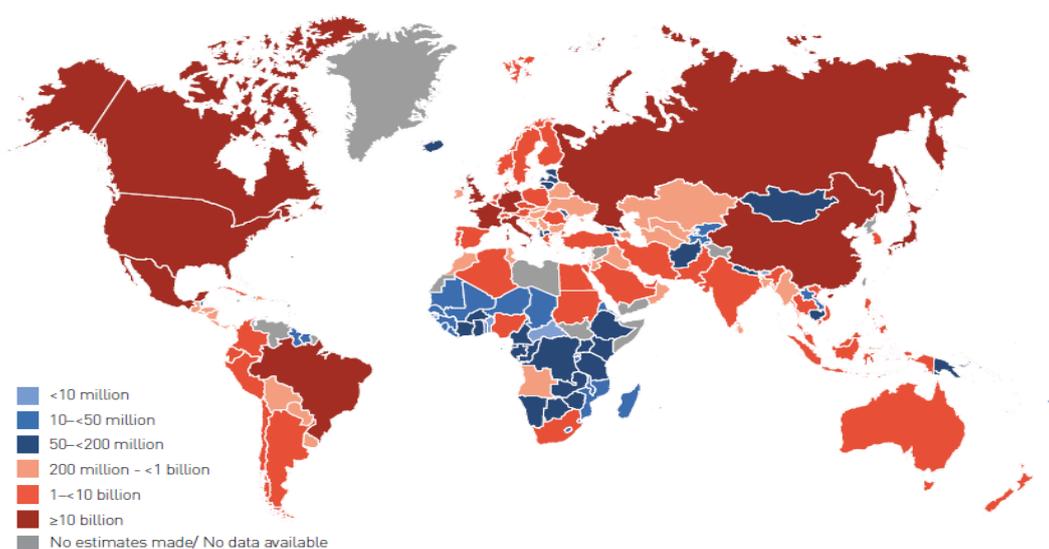
Nota. Fuente: Conselleria de Sanitat.

La OMS indica que la diabetes genera un gran impacto económico en los sistemas sanitarios y en la economía mundial (ver figura 5). Tal impacto se asocia a los gastos directos derivados de la enfermedad como atención hospitalaria, medicamentos y medios de control de la enfermedad (dispositivos de medición de la glucemia, inyecciones...), y a gastos indirectos relacionados con pérdida de productividad y muertes prematuras. Se calcula que estos gastos ascienden a 827.000 millones de dólares anualmente (OMS, 2016).

Según un estudio realizado para diferenciar el coste anual de ambos tipos de diabetes, las personas menores de 45 años con DT1 generan un gasto sanitario de unos 4000\$ de media al año mientras que las personas mayores de esa edad podrían alcanzar los 35.000\$ al año, esta diferencia radica en el mayor número de ingresos hospitalarios en adultos mayores (Dall et al., 2009). Las estimaciones futuras indican que el gasto derivado de esta enfermedad se incrementará, no por el encarecimiento de los tratamientos sino por el aumento de la población con la patología (International Diabetes Federation, 2019).

Figura 5

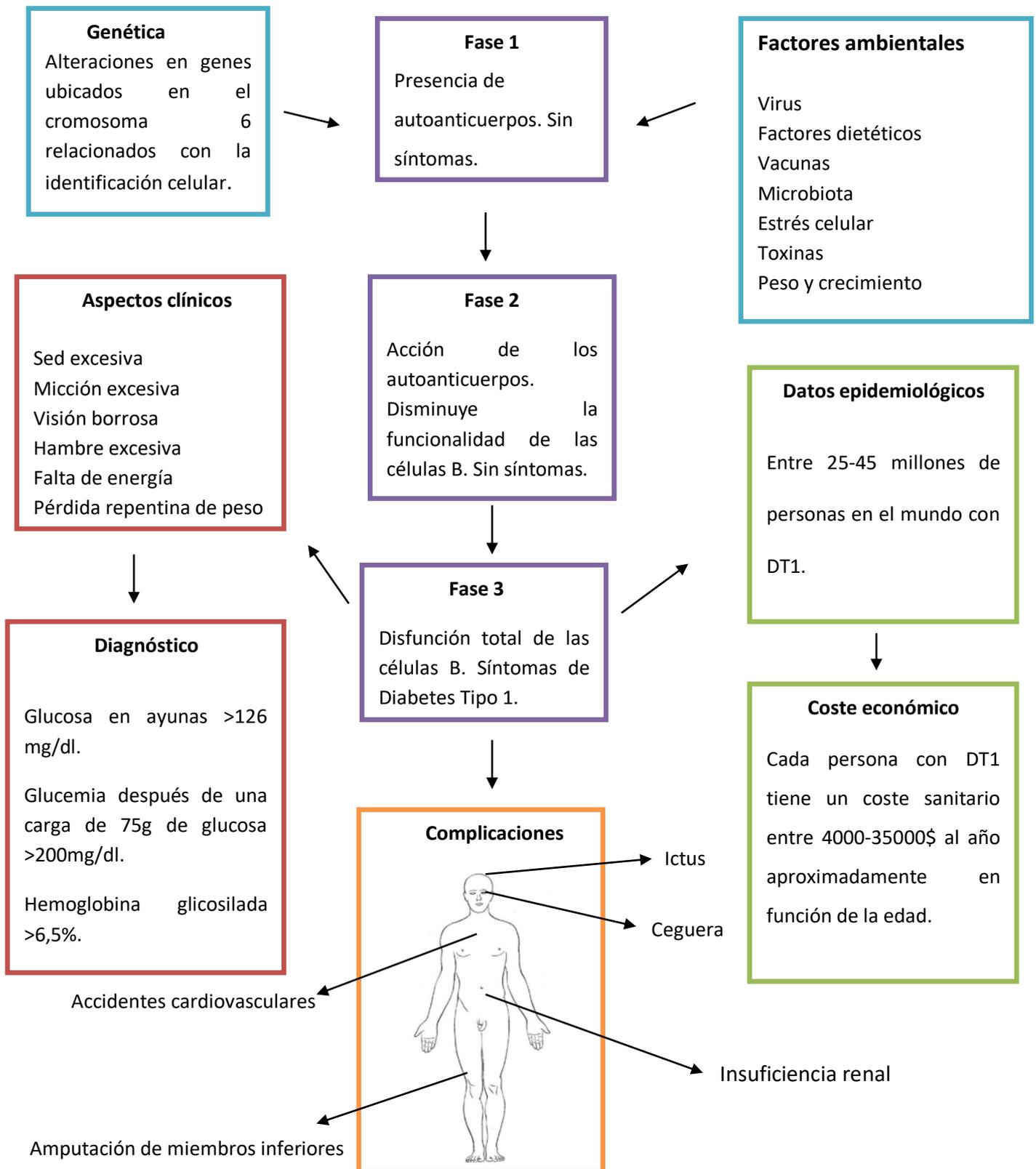
Gasto Asociado a la Diabetes en el Mundo en Adultos (20-79 Años) al Año



Nota. Extraído de IDF Atlas, Federación Internacional de Diabetes, 9 edición.

Figura 6

Desarrollo de la Diabetes Tipo 1 y sus Consecuencias Fisiológicas y Socioeconómicas



Diabetes Tipo 1 y Ejercicio Físico

Los numerosos beneficios que genera en la salud de las personas con DT1, hacen que el ejercicio físico practicado con regularidad sea fundamental en el estilo de vida de esta población (ver tabla 3). Sin embargo, dada la alteración metabólica en las respuestas agudas al ejercicio físico en DT1, la prescripción profesional en estas personas debe ser minuciosamente analizada para maximizar los beneficios y reducir los riesgos potenciales que podría originar (Codella et al., 2017; Galassetti & Riddell, 2013; Riddell et al., 2017).

Tabla 3

Diferencias entre Personas con Diabetes Tipo 1 Activas y Sedentarias.

	Sedentario	Activo
Composición corporal	-	+
Control de la glucemia	-	=/+
Episodios hipoglucémicos	=/-	+
Episodios hiperglucémicos	=/-	+
Dosis de insulina	-	+
Sensibilidad a la insulina	-	+
Perfil lipídico	=/-	=/+
Autoinmunidad	-	=/+
Inflamación	-	=/+
Funcionalidad física	-	+
Bienestar psicológico	=/-	+
Condición física cardiorrespiratoria	-	+

Nota. Extraída de Codella et al., 2017: =estable; +mejora; -deterioro

Las complicaciones en la salud de las personas con DT1 a causa de la enfermedad, tanto a nivel fisiológico como psicológico, están determinados por factores de riesgo que aumentan la probabilidad de sufrirlos o que se agraven. Un reducido VO₂max (Kaminsky et al., 2019), la VFC con predominancia simpática (Thayer et al., 2010), la composición corporal con tendencia al sobrepeso (Koolhaas et al., 2017) y una elevada glucemia en ayunas (Mongraw-Chaffin et al., 2017) se relacionan con un mayor riesgo de sufrir accidentes cardiovasculares, que es la principal causa de muerte en personas con DT1 (De Ferranti et al., 2014).

Por otra parte, la fuerza en miembros inferiores y un equilibrio deficiente (Muehlbauer et al., 2015) además de una restringida dorsiflexión de tobillo (Terada et al., 2013) se relacionan con baja funcionalidad en las actividades físicas de la vida diaria y discapacidad motriz, lo cual puede desencadenar dependencia y fragilidad.

Del mismo modo, tener una baja percepción de calidad de vida y mala calidad del sueño puede causar problemas psicológicos importantes como estrés, ansiedad o depresión, además de una peor regulación glucémica y control de la enfermedad, lo cual puede derivar en un aumento del riesgo de sufrir complicaciones propias de la enfermedad y muerte prematura (Katsarou et al., 2017; Martyn-Nemeth et al., 2018; Perez et al., 2018; Reutrakul et al., 2016).

Todos estos factores están condicionados negativamente por la alteración metabólica que supone la DT1, es decir, afectan más a personas con la patología que a sus homólogos sanos, de edad y nivel físico similar, incluso sin haber desarrollado complicaciones fundamentales en el deterioro en esos aspectos, como la neuropatía (DeVries et al., 2019; Kukidome et al., 2017; Loprinzi & Pariser, 2013; Martyn-Nemeth et al.,

2018; Monaco et al., 2019; Mottalib et al., 2017; Nielsen et al., 2016; Rao et al., 2006; Taralov et al., 2015). Por ello fueron analizados en la presente investigación.

Los mecanismos que marcan el desarrollo de complicaciones se relacionan, sobre todo, con el estrés oxidativo e inflamación vascular generado por periodos continuos de hiperglucemia propios de la DT1. Al haber un desequilibrio entre las especies reactivas de oxígeno producidas durante la respiración mitocondrial y las defensas antioxidantes se produce dicha situación, por lo que se puede alterar el correcto funcionamiento de células, moléculas y tejidos de todo el cuerpo (Galassetti & Riddell, 2013; Miele & Headley, 2017). Por su parte, el exceso de marcadores inflamatorios generado a causa de la hiperglucemia, puede dañar los vasos sanguíneos, dejando de ajustar su funcionamiento a los requerimientos fisiológicos del organismo y generando en consecuencia, importantes problemas de salud (Farinha et al., 2018; Steven et al., 2019).

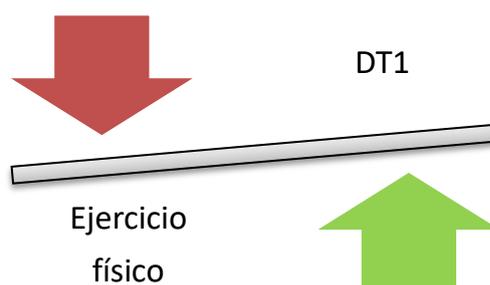
Algunos de los factores de riesgo mencionados, han demostrado reducirse en personas con DT1 cuando se utilizan diferentes metodologías de entrenamiento: el entrenamiento de fuerza ayuda a mejorar la funcionalidad física, la composición corporal, y la regulación de la glucemia. Además, reduce el riesgo cardiovascular y mejora la calidad de vida en personas con DT1 (McCarthy et al., 2019; Yardley, Sigal, et al., 2013); el entrenamiento aeróbico de moderada intensidad, por su parte, aumenta el VO_2 máx, lo que se relaciona con una mayor VFC (Wilson et al., 2017), reduce el riesgo cardiovascular, mejora la composición corporal y el bienestar psicológico (Codella et al., 2017; C Ostman et al., 2018) y el HIIT, por su parte, aumenta el VO_2 máx, mejora la regulación de la glucemia y la composición corporal (Boff et al., 2019; Farinha et al., 2017; Scott et al., 2018). En la literatura existente que investiga estos aspectos, parece que la capacidad de desarrollar procesos antiinflamatorios y antioxidantes del ejercicio físico son los mecanismos más

recurrentes para generar esos beneficios (Codella et al., 2017; Farinha et al., 2017; Miele & Headley, 2017), aunque es un campo aún en estudio en ciencias de la actividad física y el deporte.

Sin embargo, a pesar de esos grandes beneficios potenciales, la mayoría de personas adultas con DT1 no alcanza los niveles mínimos semanales de ejercicio físico recomendado, establecida en 150 minutos de ejercicio físico aeróbico, con no más de dos días consecutivos sin actividad, al 50-70% de la frecuencia cardíaca máxima y 2-3 sesiones de fuerza a la semana (Colberg et al., 2016), y así, permiten que la DT1 influya negativamente en su salud (ver figura 7).

Figura 7

Relación Entre el Ejercicio Físico y la Diabetes Tipo 1



Nota. La DT1 (efecto negativo) y el ejercicio físico (efecto positivo) condicionan de manera opuesta determinados factores de riesgo: VO2max, regulación de la glucosa, composición corporal, VFC, equilibrio, fuerza, dorsiflexión de tobillo, calidad de vida y calidad del sueño, entre otros, y que pueden desencadenar complicaciones asociadas a la DT1 como problemas cardiovasculares, discapacidad física y/o problemas psicológicos.

La diabetes tipo 1 es una enfermedad compleja en relación a la respuesta metabólica aguda al ejercicio físico, ya que, al no haber producción de insulina por parte del páncreas y tener que suplirla con administración exógena, el equilibrio de ésta con las características de la alimentación y del tipo de actividad física que se realice, debe ser el adecuado para

prevenir el problema más común de estas personas cuando hacen ejercicio físico: la hipoglucemia durante y después del entrenamiento (Farinha et al., 2017)

Encontrar ese equilibrio entre los factores que afectan a la regulación de la glucemia durante y después del ejercicio físico (ver figura 8) como la dieta, la insulina, las características de la actividad que se va a realizar o la alimentación previa (Codella et al., 2017), es una de las dificultades por las que las personas con DT1 son, en su mayoría, sedentarias. Otras barreras que alejan a esta población de la dosis mínima de ejercicio físico es la falta de tiempo y motivación, como indica también la mayoría de la población inactiva pero sin patologías, junto con el miedo a sufrir hipoglucemias, debido al desconocimiento sobre el comportamiento metabólico de su organismo cuando hacen ejercicio físico (Brennan et al., 2020; Lascar et al., 2014).

Por ello, y a raíz de la gran importancia que el ejercicio físico tiene en la salud de las personas con DT1, es necesario determinar los métodos de entrenamiento que más se ajusten a las necesidades, miedos y requerimientos de las personas con DT1 y les hagan obtener todos sus beneficios de manera segura, eficaz y eficiente (Codella et al., 2017). Esto es, una estrategia de entrenamiento que mejore los factores de riesgo condicionados por su enfermedad de la manera que menos contraindicaciones les produzca, más seguridad les genere y más beneficios les aporte.

A continuación se exponen las características de los principales tipos de ejercicio físico y su relación con la DT1 y cómo se ha llegado al HIIT, como un tipo de entrenamiento con un importante potencial en el tratamiento de a DT1.

Figura 8

Factores que Afectan a la Respuesta de la Glucosa Sanguínea Durante el Ejercicio Físico.



Nota. Adaptado de Colberg et al (2015). Imagen con licencia CreativeCommons: Atribución 2.0 genérica (CC by 2.0).

Ejercicio físico Aeróbico en Personas con Diabetes Tipo 1

El entrenamiento aeróbico, se define como un ejercicio físico continuo de moderada intensidad (50-70% de la frecuencia cardiaca máxima) y alto volumen (> 20-30 minutos), el cual implica grandes musculaturas y requiere la presencia de oxígeno para la obtención de la energía. Algunos ejemplos de este tipo de ejercicio físico son ciclismo, natación, caminar o correr, realizados a intensidad moderada (Wróbel et al., 2018).

Este tipo de ejercicio físico ha sido tradicionalmente recomendado para poblaciones patológicas como la DT1. De hecho, la Sociedad Americana de Diabetes recomienda al menos 150 minutos semanales de este tipo de ejercicio físico para la regulación y mejora de la enfermedad (Colberg et al., 2016).

El ejercicio físico aeróbico ha demostrado ampliamente los efectos positivos que tiene sobre la salud de las personas con DT1: mejora la sensibilidad a la insulina, la composición corporal, la función endotelial, pulmonar, cardíaca y el fitness cardiorrespiratorio (Wróbel et al., 2018). Por ello, este tipo de entrenamiento protege a las personas con DT1 de, entre otras cosas, las complicaciones asociadas a la enfermedad cardiovascular, que son la primera causa de muerte en esta población (Miele & Headley, 2017).

Ejercicio físico Aeróbico y Metabolismo en Personas con Diabetes Tipo 1. Las personas con diabetes tipo 1 deben atender a determinadas consideraciones antes de realizar ejercicio físico continuo de moderada intensidad para llevarlo a cabo de manera segura. El hecho de que tengan que administrarse de manera exógena la insulina, la cual permitirá que la glucosa ingrese en los músculos y en consecuencia genere la energía que les permita mantener el movimiento, condiciona todo el metabolismo durante y después del ejercicio físico.

Antes de iniciar este entrenamiento se debe tener en cuenta las características de la persona (principalmente, su nivel de condición física), cuánto tiempo se va a estar realizando el ejercicio físico y a qué intensidad, la glucemia en ese momento, la insulina que ha sido administrada y las características de su alimentación (Colberg et al., 2015; Riddell et al., 2017).

Durante el ejercicio físico aeróbico, debido al incremento en la necesidad de generar energía de manera oxidativa (en presencia de oxígeno) en los músculos, la glucosa va saliendo de la sangre para ingresar en éstos e iniciar la ruta metabólica que permite obtener dicha energía. Este tipo de ejercicio físico puede aumentar el consumo de glucosa por parte

de los músculos hasta 50 veces a través del aumento en la sensibilidad a la insulina y al incremento de mecanismos de transporte de glucosa al músculo independientes a dicha hormona (Galassetti & Riddell, 2013). Por ello, la secreción de insulina en personas sin patología se reduce. Esto sucede, precisamente, para compensar ese aumento de sensibilidad a la insulina y transporte de glucosa causada por el propio ejercicio físico. Por lo que la reducción de insulina en sangre no restringe la provisión de glucosa a los músculos (Riddell et al., 2017).

No obstante, con el objetivo de mantener la homeostasis metabólica y evitar la hipoglucemia, se activan diferentes mecanismos que regulan la concentración de glucosa en sangre. Fundamentalmente, cuatro vías metabólicas se accionan para asegurar el mantenimiento en la producción de energía: la movilización de glucosa (a partir de las reservas de glucógeno) desde el hígado, la movilización de ácidos grasos desde el tejido adiposo, gluconeogénesis (producción de nuevas moléculas de glucosa) a partir de precursores sin CHO (aminoácidos, lactato y glicerol) y bloqueo de entrada de glucosa en las células para que se usen ácidos grasos en la producción de energía (Codella et al., 2017; Galassetti & Riddell, 2013).

Estos mecanismos dependen de determinadas hormonas: glucagón, cortisol, hormona de crecimiento (HC), epinefrina y norepinefrina, resumidos en la tabla 4. Cuando la glucemia es baja estas hormonas desencadenan acciones que la incrementan: el glucagón aumenta la producción de glucosa del hígado y estimula la gluconeogénesis y el cortisol estimula la gluconeogénesis y movilización de ácidos grasos, funciones que también realiza la HC. La epinefrina y la norepinefrina (catecolaminas) se encargan del catabolismo del glucógeno (glucogenólisis) y los lípidos (lipólisis) y de reducir el consumo de glucosa por

parte de los músculos. Por otra parte, la norepinefrina reduce la secreción de insulina para que no interfiera en el aumento de la glucemia ocasionado por las hormonas mencionadas (Wilmore & Costill, 2007).

En una persona con DT1 se producen diferencias en el comportamiento metabólico del organismo durante el ejercicio físico aeróbico. Las respuestas al ejercicio físico dependen de la duración e intensidad del entrenamiento, del consumo de CHO, del tipo y cantidad de insulina y de dónde se haya inyectado (Galassetti & Riddell, 2013). A diferencia de lo que ocurre en personas sin la patología, en la población con DT1 la insulina (administrada de manera exógena) no se va reduciendo de la misma manera con el ejercicio físico aeróbico a causa del aumento de transporte de glucosa al músculo mediante mecanismos no dependientes de la insulina y al aumento de sensibilidad a ésta (Galassetti & Riddell, 2013), debido, en primer lugar, a que se suele realizar el ejercicio físico entre 0-4 horas después de la inyección, por lo que debido a la farmacocinética y al pico de acción de la hormona, no se equilibra su concentración. En segundo lugar, especialmente si se inyecta cerca de músculos activos, la insulina puede ser absorbida rápidamente por tejido subcutáneo que la va vertiendo al torrente sanguíneo cuando se inicia el ejercicio físico. (Codella et al., 2017).

Debido a estos, anormalmente elevados, niveles de insulina en sangre durante el ejercicio físico, se genera una exagerada entrada de glucosa en la musculatura y la inhibición o reducción de producción de glucosa endógena y movilización de ácidos grasos mediada por el cortisol, la HC, el glucagón y las catecolaminas. En condiciones normales, estas hormonas actúan elevando la glucemia ante niveles bajos de insulina, pero en DT1 estos mecanismos hormonales no funcionan correctamente (Codella et al., 2017; Galassetti & Riddell, 2013; Riddell et al., 2017).

Tabla 4

Diferencias entre Personas con DT1 y Sin Patología en el Comportamiento de Diferentes Hormonas Durante Ejercicio Físico Aeróbico.

	Sin Patología	Diabetes Tipo 1
Insulina	Aumenta la secreción de glucagón y baja la de insulina.	La insulina no baja y la producción de glucagón es deficiente.
Glucógeno	La producción de glucosa hepática aumenta por glucogenólisis y gluconeogénesis.	La producción endógena de glucosa es ineficaz.
Catecolaminas	La epinefrina y norepinefrina aumentan la glucogenólisis, reducen el consumo muscular de glucosa y reducen la secreción de insulina. El cortisol activa la lipólisis y gluconeogénesis.	La respuesta hormonal contraria a la insulina (hormonas contrarreguladoras) es deficiente a causa de la alta concentración sanguínea de esta hormona, causando hipoglucemia.
Ácidos grasos	Durante el ejercicio físico aeróbico la oxidación de grasas aumenta.	La lipólisis inducida por el ejercicio es atenuada debido a la alta concentración de insulina (exógena).
Transportadores de de glucosa	Sube el consumo de glucosa y la sensibilidad a la insulina por el incremento del transportador GLUT-4.	Capacidad contráctil deteriorada y disfuncionalidad en el transporte y recepción de glucosa e insulina.

Nota. Extraído de Codella et al., 2017.

A causa de estos mecanismos, se suele producir un descenso excesivo en la concentración de glucosa en sangre o hipoglucemia (<70mg/dl) durante el ejercicio físico, el cual, en función de la gravedad puede ocasionar mareos, desvanecimientos e incluso coma. Esta hipoglucemia puede darse horas después de haber finalizado el ejercicio físico si no se toman las medidas adecuadas.

Después del ejercicio físico, el consumo de glucosa por parte de los músculos se reduce, pero la sensibilidad a la insulina se mantiene alta. Este hecho, junto a la necesidad de reponer las reservas de glucógeno muscular que han sido consumidas durante el ejercicio físico, puede generar una hipoglucemia post-ejercicio físico e incluso darse mientras la persona duerme por la noche, ya que esta sensibilidad a la insulina tiende a ser bifásica: ocurriendo inmediatamente después del ejercicio físico y 7-11 horas más tarde. Las personas con DT1 sufren al año entre 42 y 91 episodios de hipoglucemia. Alrededor del 12% de personas con DT1 tiene al menos una hipoglucemia severa al año (Codella et al., 2017; Galassetti & Riddell, 2013; G. Turner et al., 2019).

El miedo a estos episodios hace que las personas con DT1 no quieran participar en este tipo de entrenamientos y dejen de obtener los beneficios que les aporta el ejercicio físico aeróbico (Brennan et al., 2020; Lascar et al., 2014).

Consideraciones Para Realizar Ejercicio Físico Aeróbico con Diabetes Tipo 1. Para evitar que se den estos indeseables episodios de hipoglucemia durante y después del entrenamiento aeróbico, es necesario controlar diferentes variables que aseguren el correcto funcionamiento del metabolismo, resumidas en la tabla 5.

Tabla 5

Recomendaciones Nutricionales y Ajustes de Insulina para el Desarrollo de Ejercicio Físico Aeróbico con Seguridad en Personas con DT1

Antes del ejercicio físico	Durante el ejercicio físico	Post-ejercicio físico
Glucosa < 126 mg/dl → 15-30g CHO	Hidratación	30min posteriores →
Glucosa > 180 mg/dl → retrasar el consumo de CHO	30-60g CHO/ hora de ejercicio físico	1,5g CHO/Kg
Ejercicio físico < 45min → 15g CHO; 15-30min antes	Si se requiere >70g de CHO por hora, introducir fructosa para aumentar el ratio de oxidación de CHO.	En intervalos de 2h hasta 6h después del ejercicio físico →
Ejercicio físico prolongado → 1g CHO/kg, 1 hora antes		1,5g CHO/Kg
Reducir insulina en la inyección previa, sobre todo, si el ejercicio físico se va a realizar en los 90-120min posteriores.	Mantener el ajuste de insulina basal	Reducir el ratio de insulina basal
Reducir la insulina basal dejándola en un 50% de la habitual por hora.		Menor reducción de insulina si el ejercicio físico ha durado >3h desde la última inyección de insulina rápida
		Reducir inyecciones dentro de la hora posterior al ejercicio físico

Nota. Extraído de Codella et al., 2017.

En resumen, la actuación necesaria para que las personas con DT1 puedan realizar ejercicio físico aeróbico de manera segura se basa en garantizar una ingesta de carbohidratos anterior al ejercicio físico que lleven la glucemia por encima de 126mg/dl sin llegar a 270mg/dl y reducir la administración de insulina antes del entrenamiento para contrarrestar el aumento de sensibilidad a esta hormona y el aumento de mecanismos de transporte de glucosa ajenos a la acción de la insulina que se dan durante el ejercicio físico. Para ello, es importante hacer al menos dos mediciones de glucemia media hora antes y separadas entre sí por 10 minutos. Si el ejercicio físico es muy duradero será fundamental un aporte extra de glucosa y fructosa durante la tarea. Tras finalizar el ejercicio físico, la reducción de insulina y aporte de CHO vuelve a ser fundamental para prevenir la hipoglucemia posterior al ejercicio físico (Cockcroft et al., 2019).

Cuando el ajuste en la dosis de insulina e ingesta de CHO se desequilibra puede producirse una circunstancia metabólica y hormonal potencialmente peligrosa para la salud: la cetoacidosis diabética. Este evento metabólico consiste en que ante una reducida cantidad de insulina y una elevada concentración de hormonas contrarreguladoras como la epinefrina o el glucagón, la glucosa es incapaz de entrar en los músculos, entre otros tejidos, y por ello, se producen ácidos grasos no esterificados y glicerol del catabolismo de los triglicéridos. El glicerol es usado como sustrato en la gluconeogénesis, pero los ácidos grasos se oxidan a cuerpo cetónicos en el hígado catalizados por la carnitina como medio alternativo de obtención de energía. El resultado de esta reacción metabólica es la acumulación de cuerpos cetónicos, lo cual puede generar graves problemas de salud (Modi et al., 2016).

Los cuerpos cetónicos, en exceso, pueden generar mareos, vómitos, náuseas y en casos más graves, edemas cerebrales o infartos. Por ello, es fundamental un ajuste adecuado de insulina para poder desarrollar con seguridad la actividad y no tener problemas ni por exceso ni por defecto de la hormona (Nyenwe & Kitabchi, 2016).

Ejercicio Físico de Fuerza en Personas con Diabetes Tipo 1

El ejercicio físico de fuerza hace referencia a aquel que exige a los músculos producir tensión para acelerar, frenar o mantener inmóvil un cuerpo, ya sea una resistencia externa o el propio cuerpo (Badillo & Serna, 2002). El entrenamiento de fuerza se asocia con el proceso de desarrollo de esta capacidad física mediante ejercicios físicos que involucran múltiples articulaciones y grupos musculares. En función de cómo se ajusten las variables de entrenamiento (volumen, intensidad, tipo de ejercicio físicos, velocidad de ejecución, intervalo de descanso) se obtendrá un resultado específico de entrenamiento de fuerza (fuerza máxima, hipertrofia, potencia o fuerza muscular) (McCarthy et al., 2019).

De la misma manera que sucede con el ejercicio físico aeróbico, el entrenamiento de fuerza también ha sido aconsejado por instituciones internacionales como la Asociación Americana de Diabetes o el Colegio Americano de Medicina del Deporte. En este caso la recomendación de entrenamiento de fuerza para personas con DT1 se establece en 2-3 días de entrenamiento no consecutivos que prioricen el trabajo de grandes grupos musculares, con al menos 8-10 ejercicios físicos, entre 1-3 series de 10-15 repeticiones, a una intensidad entre el 50-75% de 1RM (Codella et al., 2017; Colberg et al., 2016; Lippincott Williams & Wilkins., 2017).

Las personas con DT1, tienen la funcionalidad del músculo esquelético reducida y además son susceptibles de perder masa muscular más rápidamente que personas sin la

patología, aun sin haber desarrollado complicaciones propias de la enfermedad (Codella et al., 2017; Monaco et al., 2019). Por ello el entrenamiento de fuerza se indica como una estrategia fundamental en la mejora y mantenimiento de la funcionalidad muscular en esta población (Yardley, Sigal, et al., 2013).

El entrenamiento de fuerza, analizado en personas con DT1, ayuda a promover grandes beneficios en esta población. Uno de ellos es el aumento de la mineralización ósea, fundamental en estas personas ya que por el efecto de la hiperglucemia pierden antes la funcionalidad en los huesos que personas de su misma edad, condición física y composición corporal (Kalaitzoglou et al., 2016; Zhukouskaya et al., 2015).

Con el entrenamiento de fuerza también mejora la composición corporal a través de la reducción de la masa grasa y el aumento de la masa muscular. Esto hace que las personas con DT1 prevengan o reduzcan el sobrepeso, algo que está aumentando mucho en esta población en los últimos años (Mottalib et al., 2017). Otro beneficio fundamental de este tipo de ejercicio físico es el que se produce en la salud cardiovascular (primera causa de muerte en DT1) a través de la mejora en el perfil lipídico y la funcionalidad vascular (Yardley, Sigal, et al., 2013).

También, psicológicamente tiene efectos positivos ya que mejora la calidad de vida de las personas que practican este entrenamiento (Yardley, Sigal, et al., 2013). Además, uno de los motivos principales por los que el entrenamiento de fuerza es determinante en la salud de las personas con DT1, es la funcionalidad. Un programa de fuerza adecuado mejora la capacidad funcional en el desarrollo de las actividades diarias previniendo caídas, lesiones y dependencia (Codella et al., 2017).

Ejercicio Físico de Fuerza y Metabolismo en Personas con Diabetes Tipo 1. El ejercicio físico de fuerza tiene predominancia anaeróbica en la producción de energía, es decir, no requiere oxígeno para obtener la mayoría de energía necesaria para ejecutar los movimientos. Por ello, desencadena la respuesta hormonal y metabólica propia de este tipo de esfuerzos (Yardley, Sigal, et al., 2013).

En función de las características del ejercicio físico de fuerza (cargas, descansos, velocidad), del nivel de condición física y del ajuste ingesta de CHO-insulina, la respuesta hormonal y metabólica será diferente, pero un denominador común en los ejercicios físicos de fuerza es la alta secreción de catecolaminas (epinefrina y norepinefrina), HC y lactato, que desatan el aumento de producción de glucosa endógena por parte del hígado (mayor en personas entrenadas que no entrenadas) (Yardley, Sigal, et al., 2013). Esto se debe a la alta velocidad en el consumo de glucosa y a la necesidad de este sustrato para abastecer el consumo de energía que se produce de manera no oxidativa (McCarthy et al., 2019).

A pesar de la falta de estudios que analicen la respuesta aguda del entrenamiento de fuerza en personas con DT1, se observan tendencias que determinan las características del entrenamiento de fuerza en esta enfermedad (Yardley, Sigal, et al., 2013). La respuesta hormonal y el metabolismo eminentemente anaeróbico hace que la caída de la glucosa durante el ejercicio físico de fuerza sea mucho menor que la ocurrida durante el aeróbico en personas con DT1. Del mismo modo, el entrenamiento de fuerza se relaciona con una concentración de glucosa post-ejercicio físico mucho más estable que en el entrenamiento aeróbico, por lo que, el gran inconveniente que ocurre derivado del ejercicio físico aeróbico para las personas con DT1 que es la hipoglucemia durante y después del ejercicio físico, quedaría reducido con el entrenamiento de fuerza (Yardley, Kenny, et al., 2013).

Consideraciones Para Realizar Ejercicio Físico de Fuerza en Diabetes Tipo 1. El aumento en la concentración de catecolaminas durante el ejercicio físico de fuerza y en consecuencia el incremento de la producción endógena de glucosa hace que el ajuste en cuanto a la dosis de insulina y a la ingesta de CHO sea mucho más sencillo que en el ejercicio físico aeróbico. Aunque, en determinados tipos de entrenamiento de fuerza con alto volumen y cargas bajas debe tenerse en cuenta que la respuesta hormonal puede ser baja, a diferencia de entrenamientos con cargas altas y volúmenes bajos, los cuales se asocian a una respuesta hormonal (epinefrina) más fuerte, lo cual desencadena una producción hepática de glucosa mayor (Yardley, Sigal, et al., 2013).

En ejercicios físicos anaeróbicos de estas características, no es necesaria la reducción inicial de insulina ni la ingesta de CHO antes del ejercicio físico para prevenir el descenso en la glucemia, ajustes propios del ejercicio físico aeróbico. Aunque es necesario controlar la glucemia, porque podría tener tendencia hiperglucémica después de la tarea, en ese caso habría que incrementar la dosis de insulina, posponiendo la ingesta de CHO (Riddell et al., 2017).

Es importante destacar que el efecto agudo del entrenamiento de fuerza en personas con DT1 es un tema poco estudiado en ciencias del deporte, y se necesitan más investigaciones para conocer las características concretas del ajuste del ratio insulina/CHO en función del tipo de entrenamiento de fuerza que se haga (D. Turner et al., 2015; Yardley, Kenny, et al., 2013; Yardley, Sigal, et al., 2013).

Entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT)

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) es un tipo de ejercicio físico que ha adquirido mucha importancia en los últimos años. De hecho, ha sido top 3 consecutivamente en los últimos 5 años (dos de ellas número 1) en las tendencias mundiales en fitness que el ACSM publica cada año (Thompson, 2019).

Del mismo modo, en la base de datos científica PubMed, en 2010 hubo 48 publicaciones relacionadas con el HIIT, mientras que en 2019 hubo más de 500. Sin embargo, a pesar de que la popularización del HIIT ha explotado en la última década, se trata de una estrategia de entrenamiento llevada a la práctica desde los años 20, sobre todo en el ámbito del rendimiento deportivo (Buchheit & Laursen, 2013b).

Esto se debe a que ha sido en estos últimos años cuando se ha comenzado a descubrir el verdadero potencial fisiológico de esta tendencia de entrenamiento, tanto a nivel deportivo como de salud (Azuma & Matsumoto, 2017), evidenciándose beneficios a nivel cardiorrespiratorio y metabólico comparables a los obtenidos por el clásico entrenamiento continuo de moderada intensidad (Sultana et al., 2019). A su vez, el HIIT presenta una característica muy interesante para la población general, pues requiere de bajos volúmenes de entrenamiento, lo que elimina la principal barrera por la que las personas se excusan para no hacer ejercicio físico: la falta de tiempo (Gibala et al., 2012).

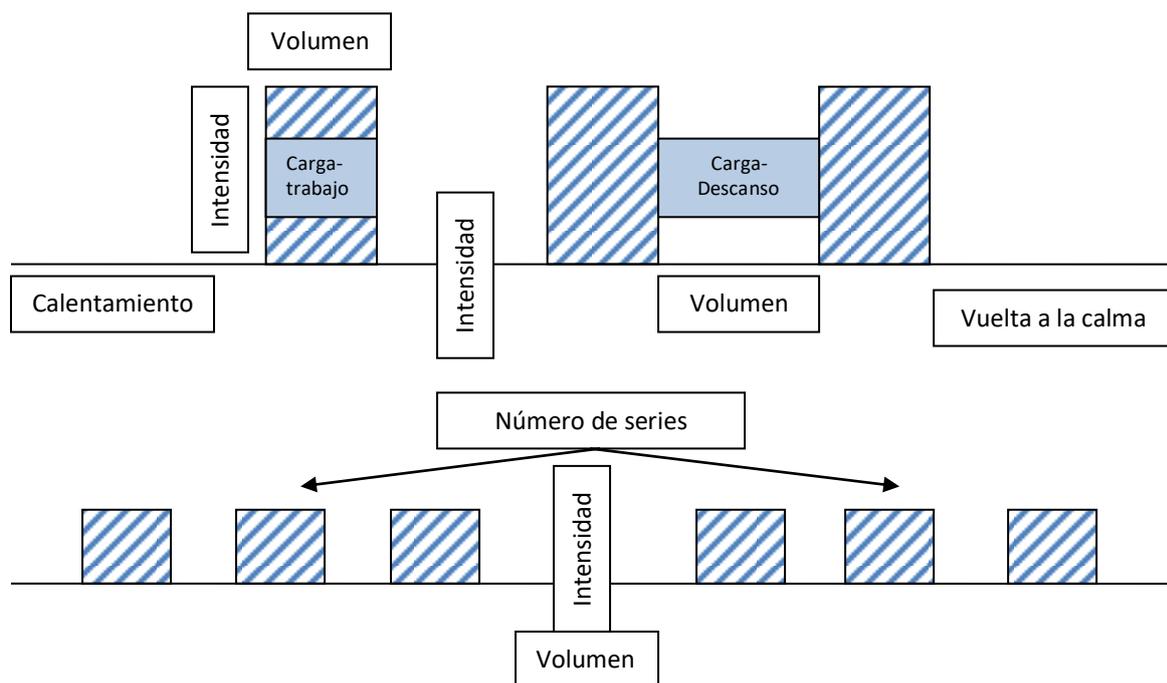
El HIIT consiste en la realización de periodos de corta o moderada duración de un determinado ejercicio físico, fundamentalmente de resistencia, a intensidades superiores al umbral anaeróbico, separadas por breves intervalos de descanso a baja intensidad o descanso pasivo (Gibala et al., 2012).

Existen infinidad de protocolos de HIIT en base a cómo se utilicen las variables que determinan un entrenamiento tipo HIIT (ver figura 9): el tipo de ejercicio físico, la intensidad

del intervalo de trabajo, la duración y cantidad de dichos intervalos, la intensidad y duración del periodo de descanso, el número de series, la duración de cada serie, descanso entre series y la intensidad entre series (Buchheit & Laursen, 2013a).

Figura 9

Variables en la Programación de un Entrenamiento HIIT



Nota. Modificado de López Chicharro & Vicente Campos, 2018.

A pesar de esa gran variabilidad, la mayoría de protocolos de HIIT se establecen entre los 10 segundos y los 4 minutos de trabajo a alta intensidad en cada intervalo. El objetivo de estos entrenamientos es acumular tiempo de ejercicio físico a intensidades que no podrían mantenerse durante periodos largos de tiempo (>80% del VO_2 máx), siempre que los periodos de descanso permitan que se completen los intervalos de alto esfuerzo a la intensidad deseada. La sesión completa de HIIT suele establecerse entre los 20-40 minutos, teniendo en cuenta los periodos de descanso (Boutcher, 2011; Buchheit & Laursen, 2008; Cassidy et al., 2017).

El HIIT ha demostrado ser una herramienta muy útil en el ámbito del rendimiento deportivo, a pesar de que se lleva utilizando más de un siglo en todo tipo de deportes (Buchheit & Laursen, 2008). Del mismo modo, aunque de manera mucho más reciente, se está utilizando el HIIT como método de entrenamiento en el ámbito del fitness y la salud, teniendo al menos los mismos beneficios que el ejercicio físico aeróbico clásico en parámetros cardiovasculares y metabólicos, pero requiriendo un menor tiempo total de trabajo (Cassidy et al., 2017; Hussain et al., 2016). Por ello, el HIIT, ha sido analizado en la última década como instrumento potencialmente eficaz para la mejora en patologías como hipertensión (Costa et al., 2018), obesidad (Wewege et al., 2017), síndrome metabólico (Ramos, Dalleck, Borrani, Beetham, Wallen, et al., 2017), diabetes tipo 2 (De Nardi et al., 2018), fallo cardíaco (Arena et al., 2013), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (Ross et al., 2016) y también para enfermedades mentales (Martland et al., 2019).

Una de las enfermedades metabólicas menos analizadas en relación al efecto del HIIT, es la diabetes tipo 1 (Codella et al., 2017). No obstante, los resultados obtenidos con personas sanas, con otras patologías, y los estudios previos que aplican HIIT en personas con DT1 (ver tabla 6) lo posicionan como uno de los métodos de entrenamiento que más se ajusta a las necesidades de este tipo de población (Boff et al., 2019; Farinha et al., 2017, 2018; Scott et al., 2018).

Entrenamiento interválico de Alta Intensidad en Diabetes Tipo 1: Aspectos Fisiológicos. Las respuestas agudas del HIIT, es decir, durante el ejercicio físico e inmediatamente después, en relación al metabolismo y al sistema endocrino, se asocian con una producción de energía fundamentalmente anaeróbica, ya que los intervalos de alta intensidad se suelen desarrollar por encima del 80% del VO_2 máx. Esta energía se obtiene,

mayoritariamente, a través de ATP libre en la fibra muscular, fosfocreatina y glucosa metabolizada sin la utilización de oxígeno. También es necesario el componente aeróbico, debido a los intervalos de recuperación (Buchheit & Laursen, 2013b).

Estos estímulos de alta intensidad, generan el aumento de secreción de catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) y HC, que a su vez, inhiben el consumo de glucosa mediado por la insulina y aceleran la gluconeogénesis y suministro de glucosa a la sangre por parte del hígado. A causa de la obtención de energía a través de la glucosa sin intervención de oxígeno (glucólisis anaeróbica), aumenta la concentración de lactato en la fibra muscular y en la sangre. Este hecho también inhibe el consumo de glucosa mediado por la insulina y promueve la producción de glucosa por parte del hígado. Estos mecanismos contribuyen a una regulación de la glucemia durante y después del ejercicio físico mucho más segura en personas con DT1 que la acontecida con ejercicio físico aeróbico de moderada intensidad, previniendo la aparición de hipoglucemias (Farinha et al., 2017; Gallen, 2014; Yardley & Sigal, 2015).

En relación al periodo post-ejercicio físico, el consumo de oxígeno se mantiene elevado para ayudar a reconstituir las condiciones metabólicas basales. Los mecanismos que se activan a través de este mayor consumo de oxígeno son el aclarado de lactato, el aumento de la función cardíaca y pulmonar, el aumento de la temperatura corporal, mayor efecto de las catecolaminas y la re-síntesis de glucógeno. Esto hace que las grasas se utilicen como sustrato energético en dicha reorganización metabólica (Boutcher, 2011). Obviamente, estas respuestas fisiológicas tienen una variabilidad muy alta en función del tipo de entrenamiento HIIT que se haga y en cómo se ajusten las variables antes mencionadas (Buchheit & Laursen, 2008; López Chicharro & Vicente Campos, 2018).

Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad en Diabetes tipo 1: Beneficios y Justificación de Uso. A pesar de ser un tipo de entrenamiento muy poco estudiado en población con DT1, el HIIT está empezando a mostrar beneficios potenciales a nivel cardiovascular y metabólico en personas con esta enfermedad. Entre estos beneficios resaltan el aumento del VO_2 máx, la mejora de la función vascular, la mejora de la composición corporal, la mejora de la función cardíaca, el aumento de marcadores antioxidantes y antiinflamatorios junto con la reducción en la cantidad de insulina inyectada (Boff et al., 2019; Farinha et al., 2017, 2018; Scott et al., 2018).

Estos beneficios, junto con la prevención de la hipoglucemia y el poco tiempo que requiere, las cuales son las mayores barreras que las personas con DT1 presentan para hacer ejercicio físico (Brennan et al., 2020; Lascar et al., 2014), hacen que el HIIT se posicione como una herramienta muy útil para que este espectro de la población haga ejercicio físico y obtenga todos sus beneficios, por delante del ejercicio físico aeróbico y de fuerza que aumentan el riesgo de hipoglucemia y requieren más tiempo de entrenamiento respectivamente, aunque obviamente, no son excluyentes.

A pesar de los beneficios que ha demostrado el HIIT en personas con DT1, aún permanecen desconocidos los efectos de esta estrategia de entrenamiento en determinados factores de riesgo relacionados con algunas complicaciones de la DT1.

Del mismo modo, los protocolos de HIIT utilizados para conocer el efecto sobre determinadas variables han sido muy dispares. Teniendo en cuenta esto, y que la mayoría de personas con DT1 son sedentarias, en este estudio se analizó el efecto de un protocolo de HIIT sobre distintas variables relacionadas con complicaciones de la DT1. Algunas de estas variables, no habían sido analizadas anteriormente en esta población con ningún protocolo de HIIT, como es el caso de la fuerza en miembros inferiores, VFC, la calidad de vida, la

calidad del sueño, la adherencia y motivación para el HIIT, el equilibrio dinámico y la dorsiflexión de tobillo, mientras que otras variables sí que fueron investigadas con anterioridad empleando distintos protocolos de HIIT: consumo máximo de oxígeno, glucemia en ayunas y composición corporal. No obstante, es necesario recalcar que en la presente investigación se utilizó un protocolo de HIIT 1:2, es decir, con el doble de descanso que de esfuerzo a alta intensidad. Un tipo de protocolo adaptado a la condición física de los participantes y a lo que podrían tolerar en el mundo real.

Tabla 6

Características de los Estudios Previos que Analizaron HIIT en personas con Diabetes Tipo 1

Estudio	Características de los sujetos			Características de la intervención			Resultados destacables	
	Muestra (edad)	Duración de la diabetes (años)	Otras características	Protocolo HIIT	Intensidad	Duración	Agudos	Crónicos
(Kym J. Guelfi et al., 2005).	N=7 (21,6±4,0)	8,6±5,0	IMC=24,7±3,5; Activos;VO ₂ máx =39,3±7,4ml/min/ kg	HIIT: Sprint máximo de 4" cada 2', 30'totales. MICT: 30'	HIIT: "all out"/40% VO ₂ máx MICT: 40% VO ₂ máx	Una sesión de cada protocolo separada por 1 semana	La caída de la glucemia en HIIT fue menor que en MICT	No analizados
(K. J. Guelfi et al., 2007).	N=9 (22,6±5,7)	5,6±3,9	IMC=24,6±2,6 Activos VO ₂ máx =41,8±4,6ml/min/ kg	HIIT: Sprint máximo de 4" cada 2', 30'totales. MICT: 30'	HIIT: "all out"/40% VO ₂ máx MICT: 40% VO ₂ máx	Una sesión de cada protocolo separada por 1 semana	La caída de la glucemia en HIIT fue menor que en MICT	No analizados
(Harmer et al., 2007).	Grupo DT1: N=8; 25±4 Grupo sin DT1: N=7; 25±4	7,1±4	IMC (25,4 ±3,2/ 23,8± 5.0 kg/m ² , respectivamente) VO ₂ pico (42,7± 12,2 ; 43,7 ± 6,2 ml/min/kg)	HIIT: 4x30"/4' (cicloergómetro). 4 series en semana 1; 6 series en la semana 2; 8 en la semana 3; 10 en las semanas 4-7	HIIT: "all out"/pasivo	3 sesiones/semana; 7 semanas	No analizados	Mayor glucemia post-ejercicio DT1: 243± 95,4 y 90±5,4 mg/dl respectivamente

(Iscoc & Riddell, 2011).	N=11 (35,1±3,5)	15,6±5,6	Activos; VO ₂ máx =42,4±1,6ml/min/kg. Sin comorbilidades	MICT: 45' ; HIIT: 9x15" separados por 5 minutos	MICT: 55% VO ₂ máx; HIIT: 100% VO ₂ máx descanso activo al 55% VO ₂ máx	Una sesión de cada protocolo separada por 1-4 semanas	La caída de la glucemia nocturna en HIIT fue menor que en MICT	No analizados
(Bally et al., 2016).	N=12 (26,2±3,9)	14,2±6,2	IMC=25,2±3,4 Activos VO ₂ máx =47,9±10,2ml/min/kg	HIIT: Sprint máximo de 10" cada 10', 90' totales. MICT: 90'	HIIT: "all out"/50% VO ₂ máx MICT: 50% VO ₂ máx	Una sesión de cada protocolo separada por 2-4 semanas	La caída de la glucemia en HIIT fue menor que en MICT	No analizados
(Farinha et al., 2018).	Grupo HIIT: N=9 (25,4±5,6) Grupo ST: 9 (22,9±3,6) Grupo ST+HIIT: 10 (24,9±5,7)	HIIT: 12,1±4,3 ST:11,7±3,7 ; ST+HIIT: 11,5±6,5	Sedentarios; sin comorbilidad	HIIT: 10x1'/1' (cicloergómetro) ST: 3x8 (7 ejercicio físicos de fuerza)/1'entre series ST+HIIT: Ambos protocolos	HIIT:90%FCmáx/50 W ST: 8RM ST+HIIT: Ambos protocolos	3 sesiones /semana; 10 semanas	No analizados	HIIT↑VO ₂ máx ~6ml/min/kg; Grupo HIIT↓ glucemia en ayunas un 7,5%; Todos ↑ marcadores antioxidantes y la composición corporal; HIIT↑ marcadores antiinflamatorios
(Scott et al., 2018).	Grupo HIIT: N=7 (29±3) Grupo MICT: 7 (29±5)	HIIT: 13±3 MICT: 9±2	IMC: 29±1,2 5 hombres/2 mujeres por grupo Sedentarios; sin comorbilidad	HIIT: 6x1' (cicloergómetro)/1'; ↑2 intervalos cada 2 semanas; Grupo MICT: 30'; ↑10'cada 2 semanas	HIIT: 100% VO ₂ pico/50W MICT: 65% VO ₂ pico	3 sesiones/semana ;6 semanas	Estabilidad en la glucemia en HIIT; caídas significativas de glucemia en MICT	VO ₂ máx ↑ 14% HIIT; 15% MICT

(Farinha et al., 2019).	Grupo HIIT: N=9 (25,4±5,6) Grupo ST: 9 (22,9±3,6) Grupo SIT+HIIT: 10 (24,9±5,7)	HIIT: 12,1±4,3 ST:11,7±3,7 ; ST+HIIT: 11,5±6,5	Sedentarios; sin comorbilidad	HIIT: 10x1´/1´ (cicloergómetro) ST: 3x8 (7 ejercicio físicos de fuerza)/1´ entre series ST+HIIT: Ambos protocolos	HIIT: 90%FCmáx/50W ST: 8RM ST+HIIT: Ambos protocolos	3 sesiones /semana; 10 semanas	HIIT ↓ la glucemia más que ST y ST+HIIT	No analizados
(Scott, Shepherd, Andrews, et al., 2019).	N=11 (30±3 años)	10±2	IMC=27,3±1,6 Sedentarios	6x1´ (30" star jumps+30" burpees)/1´; ↑2 intervalos cada 2 semanas	>80%FCmáx/ descanso pasivo	3 sesiones/semana; 6 semanas	No se dieron casos de hipoglucemia; 2% hiperglucemias	VO ₂ máx ↑ 7%; Insulina necesaria ↓13%
(Scott, Cocks, et al., 2019).	N=14 (26±3)	8,2±1,4	IMC=27,6±1,3 Sedentarios VO ₂ máx =30,8±2,2ml/min/kg	HIIT: 6x1´/1´, MICT: 30´	HIIT: 100% VO ₂ máx/50W MICT: 65% VO ₂ máx	Una sesión de cada protocolo separada por 48h	No hubo hipoglucemia nocturna	No analizados
(Boff et al., 2019).	Grupo HIIT: N=9 (26,1±7,8) Grupo MICT: 9 (23,7±5,8) Grupo CON: 9 (20,8±2,6)	HIIT: 9.1±2.9 MICT:10.4±2.8 CON: 9.7±2.7	IMC; HIIT: 23.2±2.4; MICT: 24.1±2.0 CON: 22.7±2.6 Sedentarios; sin comorbilidad	HIIT: Fase 1: 20´ (cicloergómetro); Fase 2: 3x1´/5´ Fase 3: 6x1´/4´ MICT: 20´, ↑10´ cada fase (cada 2-3 semanas)	HIIT: Fase 1: 50% FCmáx Fase 2: 80% FCmáx/50% FCmáx Fase 3: 85% FCmáx/50% FCmáx MICT: 50%, 60%, 65% FCmáx en cada fase	3 sesiones/semana; 8 semanas	No analizados	HIIT ↑ función endotelial 5,5%; VO ₂ máx ↑ 6,8% HIIT; ↑3,2% MICT

(Riddell et al., 2019).	N=16 (34,7 ± 10,3)	17,3±11	Buena condición física (VO ₂ máx=40±6,6 ml/min/kg). Ejercicio físico realizado en ayunas	HIIT: 4x30"/30" (cicloergómetro)+2x(5x 20"),ejercicio físicos de calistenia+4x30"/30" (cicloergómetro)	HIIT: 100-120-130%PPO/50% VO ₂ máx/intensidad no determinada en calistenia	4 sesiones separadas por 3 días	Equilibrio glucémico a pesar del ayuno. Sin hipoglucemias severas	No analizados
(Minnebeck et al., 2020).	Grupo HIIT normal: N=11 (42,1±15,4); Grupo HIIT sobrepeso: N=11 (40,7±14,2)	Normopeso : 16,6±6,9 Sobrepeso: 21,5±10,3	Sin comorbilidades; la mitad tenían sobrepeso	HIIT: 4x1'/1' (cicloergómetro); 6 series las dos últimas semanas	HIIT: "all out"/descanso pasivo	2 sesiones /semana; 4 semanas	No analizados	PPO ↑ 7,9%; HIIT mejoró marcadores cardiometabólicos; -4,4±10,2% dosis insulina diaria; Sin cambios en composición corporal; ↑ calidad de vida
(A. Lee et al., 2020).	Grupo HIIT: N=10 (45,5±10); Grupo control: N=12 (46,1±10,5)	HIIT: 15,8±12,2 Control: 22,5±10	Sedentarios; sin comorbilidades; con sobrepeso	HIIT: 4x4'/3' (cicloergómetro o cinta)	HIIT: 85-95FCmáx/50-75 FCmáx	3 sesiones/semana; 12 semanas	No analizados	Sin cambios en composición corporal; ↓ HbA _{1c} 8,9%
(Zinn et al., 2020).	N=20 (41,3±15)	Grupo HIIT: 4-51 (21,5)	Sedentarios; sin comorbilidades; la mitad con sobrepeso	HIIT: 4x1'/1' (cicloergómetro) ; 6 series las dos últimas semanas	HIIT: "all out"/pasivo	2 sesiones/semana; 2 semanas	No analizados	PPO ↑ 7,5%; HIIT no mejoró marcadores microvasculares de visión

Nota. Los estudios están expuestos según año de publicación.

Objetivos e Hipótesis

Los objetivos de este estudio son aplicar un protocolo de HIIT que sea asequible para personas con DT1 y sedentarias, y que del mismo modo sea seguro al no causar en ellos eventos metabólicos adversos. Por otra parte, se busca conocer el efecto que dicho protocolo tiene sobre diferentes variables que son determinantes en la prevención de accidentes cardiovasculares, mejora de la funcionalidad física y el bienestar psicológico, y que permanecen sin ser evaluadas en la literatura científica para esta población tras realizar HIIT (VFC, fuerza en miembros inferiores, dorsiflexión de tobillo, equilibrio dinámico, motivación y disfrute hacia el ejercicio físico y calidad del sueño). Del mismo modo, busca contrastar los resultados de determinadas variables que, en otras investigaciones con temática y metodología similar, ya han sido analizadas (VO_2 máx, composición corporal, calidad de vida y glucemia en ayunas).

En función de la revisión bibliográfica realizada, la experiencia profesional adquirida y los objetivos de la tesis, se formulan las siguientes hipótesis (H):

H1: El consumo máximo de oxígeno aumentará en los participantes del grupo experimental tras el periodo de entrenamiento.

H2: La VFC aumentará tras el protocolo HIIT en el grupo experimental, incrementándose la activación parasimpática.

H3: La composición corporal de los sujetos se modificará, reduciéndose el nivel de grasa y aumentando el de masa libre de grasa.

H4: La glucemia en ayunas se reducirá en el grupo experimental.

H5: Los participantes del grupo HIIT aumentarán la velocidad de ejecución en sentadilla.

H6: La dorsiflexión de tobillo aumentará en el grupo que entrena HIIT.

H7: El equilibrio dinámico se verá afectado positivamente por el entrenamiento HIIT en cicloergómetro.

H8: Las personas que realizan el protocolo HIIT percibirán una mayor calidad de vida tras el periodo de entrenamiento.

H9: La calidad del sueño mejorará en aquellos participantes que entrenarán HIIT.

H10: La adherencia al ejercicio aumentará en base a una mejora de las necesidades psicológicas básicas (NPB) y el disfrute del HIIT.

H11: El HIIT realizado será tolerado por los participantes a pesar de una percepción subjetiva del esfuerzo elevada.

H12: El HIIT realizado no ocasionará episodios graves de hipoglucemia en las 24 horas posteriores a su realización, salvo que los participantes descuiden su alimentación o la administración exógena de insulina sea inapropiada.

Método

En este bloque se describe la metodología seleccionada para llevar a cabo el estudio, los materiales utilizados en cada una de las valoraciones así como en los entrenamientos y los procedimientos aplicados para desarrollar la investigación y la consecuente elaboración de la presente tesis doctoral.

Distribución Temporal

Figura 10

Temporalización de la Investigación

	2017	2018	2019	2020
Revisión bibliográfica	[Barra horizontal negra que cubre todo el periodo de 2017 a 2020]			
Búsqueda de muestra	[Barra horizontal azul que cubre 2017 y 2018]			
Diseño		[Barra horizontal azul que cubre finales de 2018]		
Valoraciones			[Barra horizontal azul que cubre 2019]	
Análisis estadístico			[Barra horizontal azul que cubre finales de 2019]	
Redacción tesis				[Barra horizontal gris que cubre 2020]
Revisión				[Barra horizontal blanca que cubre finales de 2020]

Nota. Durante todo el desarrollo de la tesis se mantuvo la revisión bibliográfica para plasmar la literatura más reciente relacionada con el tema de estudio. En los dos primeros años se realizó la búsqueda de muestra y a finales de 2018 se elaboró el diseño. En 2019 se desarrollaron las valoraciones y el periodo de entrenamiento, así como el análisis estadístico de los datos. En 2020 se elaboró y corrigió el documento presentado.

Revisión Bibliográfica

El análisis en profundidad de las publicaciones científicas acerca del tema de estudio, realizado constantemente durante todo el desarrollo de la tesis, proporcionó información fundamental en relación a lo que se conoce actualmente del tema, a métodos de investigación y aspectos menos estudiados en las investigaciones analizadas.

El proceso de revisión abarcó en primer lugar, publicaciones de revisión y meta-análisis que estudiaran la relación entre el ejercicio físico y la diabetes tipo 1, revisiones y meta-análisis que indagaran en los factores que han sido examinados en relación al ejercicio físico, revisiones de HIIT y finalmente todas las publicaciones originales que estudiaron la relación HIIT y DT1. Se dio prioridad de análisis a estudios provenientes de revistas con un factor impacto Q1 y Q2, y se utilizaron las bases de datos bibliográficas “Web of Science”, “PubMed” y “Scopus”.

Búsqueda de Muestra

El proceso de inclusión de participantes en esta investigación fue muy complejo y dilatado, debido a las numerosas restricciones en la selección de sujetos: personas entre 18-45 años con DT1, sedentarios, con posibilidad de realizar todos los entrenamientos y sin comorbilidades, la población potencialmente apta para la participación en el estudio era muy reducida. Este proceso se realizó mediante redes sociales y difusión a través de la Asociación Valenciana de Diabetes. El periodo de entrenamiento fue costoso para los participantes del grupo experimental ya que, debían realizar tres días no consecutivos de valoraciones, seguidos de 6 semanas de entrenamiento (3 veces por semana) y finalmente repetir las valoraciones iniciales. Esto implica un total de, al menos, 24 asistencias al

laboratorio. Este compromiso en la participación en el estudio fue el mayor impedimento para conseguir un tamaño muestral mayor.

Diseño

En esta parte de la investigación se concretaron los aspectos relacionados con la ejecución del periodo experimental: materiales a utilizar, selección de los protocolos de valoración y entrenamiento, distribución de los participantes en grupos, y temporalización del periodo de entrenamiento. Del mismo modo, se consolidaron los factores generales del estudio: variables de estudio, objetivos e hipótesis y análisis estadístico.

Valoraciones e Intervención

Durante este periodo de la investigación se aplicaron a los participantes, tanto del grupo experimental como del grupo control, los protocolos de valoración para obtener los resultados en las variables de estudio, tanto en el periodo pre, como en el post. Del mismo modo, los participantes pertenecientes al grupo experimental realizaron el protocolo de HIIT durante 6 semanas. Previamente al inicio de estas valoraciones, los investigadores llevaron a cabo un periodo de familiarización donde se realizaron todas las pruebas y sesiones tipo del protocolo HIIT con el propósito de descubrir carencias, descartar errores y practicar para la ejecución de las valoraciones.

Recogida de Datos y Análisis Estadístico

Durante todo el periodo de valoraciones y entrenamiento, los datos que posteriormente fueron analizados estadísticamente, fueron recogidos en un archivo Excel (Microsoft Excel 2013®, Microsoft Corporation, Redmond, United States). Al finalizar esa recogida de datos, éstos fueron volcados al software estadístico Statistical Package for Social Science (IBM SPSS 20.0, Chicago, USA) para realizar el análisis. La técnica estadística

utilizada fue seleccionada en función de las características de los datos obtenidos, del diseño del estudio y de las metodologías utilizadas en estudios publicados previamente y que abordaban el mismo tema y con un diseño similar.

Redacción de la Tesis

En esta etapa se realizó la escritura de la tesis, plasmando la información obtenida a través de la revisión bibliográfica, describiendo los métodos de investigación utilizados y explicando los resultados que se consiguieron a través de esos métodos, para su posterior discusión en relación a las evidencias científicas ya publicadas. El formato seleccionado siguió las directrices de la Universidad de Valencia y las normas APA de 7ª edición.

Revisión de la Tesis

En este periodo se ajustó el formato de la redacción al exigido por la Universidad de Valencia y se repasó la redacción para eliminar erratas, filtrar la información y corregir faltas de ortografía.

Diseño de Estudio

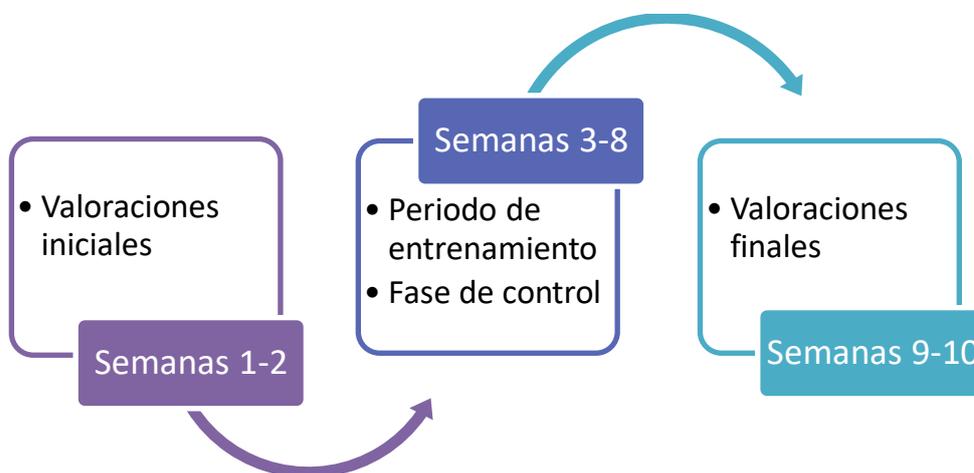
Con el objetivo de conocer el efecto de un protocolo de HIIT, en personas con DT1, sobre las variables antes mencionadas, y teniendo en cuenta la distribución de la muestra en grupo experimental y en grupo control, el diseño de estudio que se utilizó fue experimental, paralelo y aleatorizado. La distribución de los participantes a los grupos de estudio se realizó al azar (www.randomizer.org) y ambos grupos (experimental y control), recibieron tratamientos diferentes: el experimental entrenó y el control no lo hizo.

Todos los participantes realizaron 3 sesiones de valoración no consecutivas (con al menos 1 día entre dichas sesiones de evaluación), posteriormente los sujetos del grupo

experimental iniciaron el periodo de 6 semanas de entrenamiento mientras que los participantes del grupo control fueron instruidos para no realizar ningún tipo de ejercicio físico durante ese mismo periodo de tiempo. Tras ello, se volvieron a realizar las mismas valoraciones que en el momento pre-intervención con el objetivo de analizar posibles diferencias en los datos obtenidos (ver figura 11).

Figura 11

Diseño de la Fase Experimental del Estudio



Participantes

La muestra de este estudio estuvo formada por un total de 19 personas con diabetes tipo 1 diagnosticada por más de 4 años, de los cuales 10 fueron mujeres y los otros 9, hombres (ver tabla 7). Todos ellos tenían una edad comprendida entre 18-45 años y se trataba de sujetos no entrenados. En este caso, se escogieron sujetos de tales características con el propósito de representar la realidad de las personas que sufren esta patología, la cual es que son personas generalmente inactivas.

Tabla 7*Características Generales de los Participantes*

Grupo	N	Edad ± DT (años)	Sexo (H/M)	Altura± DT (metros)	Peso ± DT (Kg)	Años de diagnóstico
HIIT	11	38±5,5	5/6	1,68±0,09	70,54±7,4	20,58±8,4
Control	8	35±8,2	4/4	1,69±0,07	72,05±5,0	21,16±6,5

Nota. Los datos de edad, altura, peso y años de diagnóstico se muestran según la media de los datos ± la desviación típica.

Los participantes que formaron parte del estudio no tenían ninguna patología asociada a la enfermedad que pudiera condicionar el desarrollo de las valoraciones o los entrenamientos. Además, fueron excluidos del estudio personas que normalmente fumasen, tomaran medicación que afectase la frecuencia cardiaca y tuvieran establecida una cirugía importante durante el periodo de intervención, tal y como se puede observar en la tabla 8. Del mismo modo, en su totalidad, tras ser informados de todos los procedimientos, distribución temporal, beneficios y riesgos, los sujetos firmaron un impreso dando su consentimiento informado a la participación en el estudio, cumplimentando también los cuestionarios PAR-Q e IPAQ (ver anexos 1 y 2) para plasmar que su estado de salud era apto para la realización de ejercicio físico y para corroborar su bajo nivel de actividad física semanal, respectivamente.

Una comisión de ética de la Universidad de Valencia aprobó los procedimientos y técnicas desarrollados en esta investigación (H1421157445503), los cuales estuvieron basados en las directrices de la Declaración de Helsinki de 1975, revisada en 2008.

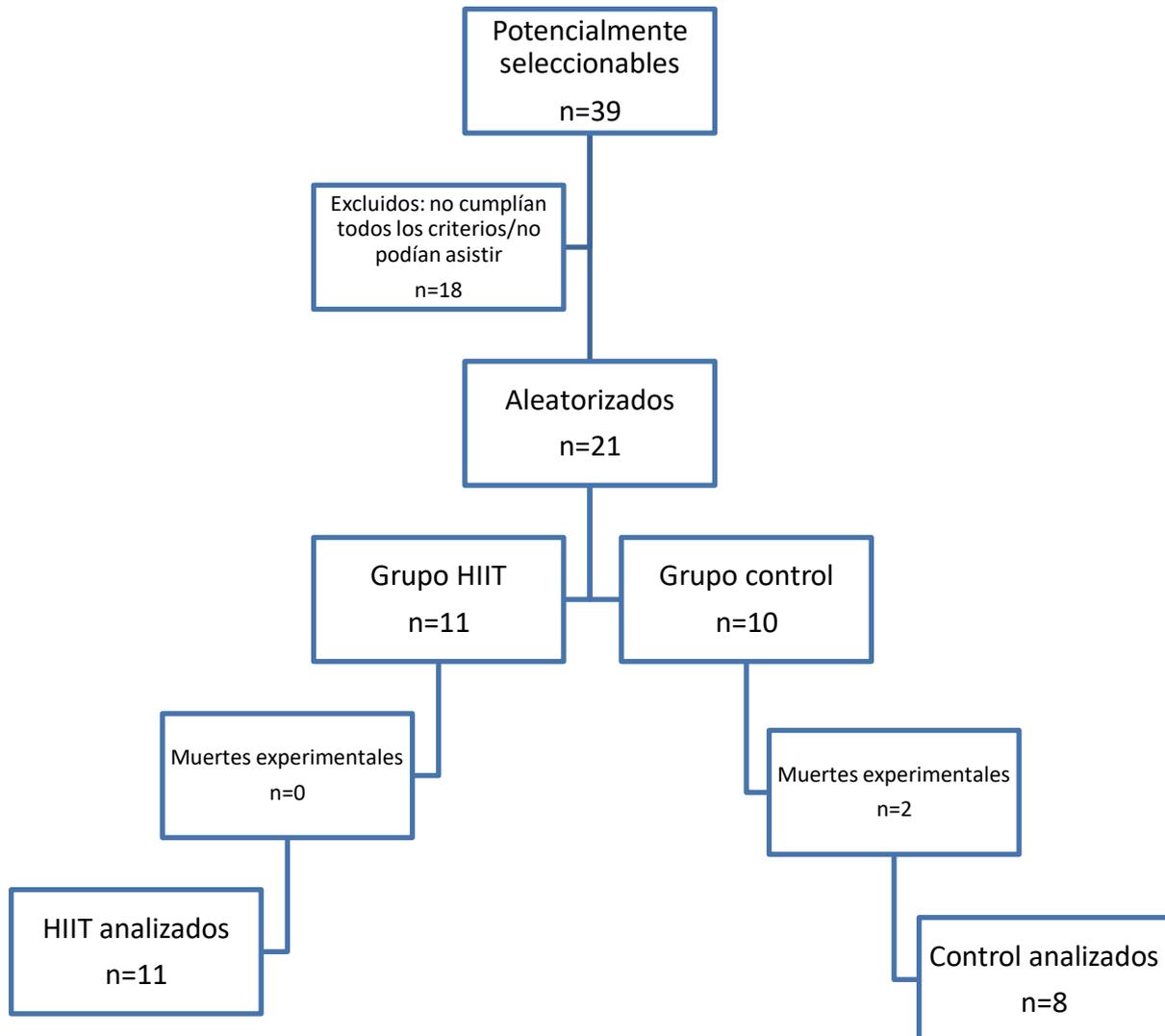
Tabla 8*Criterios de Inclusión y Exclusión para Participar en la Investigación*

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Diagnóstico >4 años	Embarazo
No ejercicio físico estructurado en 6 meses anteriores	Tabaquismo o medicación externa a la insulina
18-45 años	Comorbilidades
Hemoglobina glicosilada <10%	Cirugía planificada en los siguientes 6 meses

Durante el desarrollo de la investigación dos participantes causaron baja del estudio, uno de ellos por no cumplir con la asistencia a las valoraciones finales (sin motivo justificado) y la otra voluntaria por embarazo. Ambas personas pertenecían al grupo control, el cual inicialmente contaba con 10 participantes, pero por los motivos indicados, finalmente dicho grupo contó con 8 individuos (ver figura 12).

Figura 12

Diagrama de Flujo de la Inclusión de Participantes en el Estudio



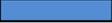
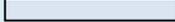
Nota. Todos los integrantes del grupo experimental completaron satisfactoriamente el periodo de intervención. Por su parte, en el grupo control, dos personas causaron baja, por lo que el número de participantes en ambos grupos se desajustó.

Valoraciones

Como se ha indicado anteriormente, las valoraciones de las variables de análisis se realizaron de manera pre y post periodo de 6 semanas de entrenamiento o control, según el grupo. Una de las variables fue medida de manera autónoma (glucemia en ayunas) por cada uno de los participantes, otras se registraron de manera on-line (cuestionarios) y otras se recogieron en presencia de los investigadores con materiales específicos (variables cardiovasculares y funcionales). Ambos grupos completaron todas las pruebas, tanto las previas al periodo de intervención como las posteriores (ver figura 13).

Figura 13

Diagrama del Periodo de Valoraciones

	Semana 1	Semana 2
Composición corporal		
VFC		
Dorsiflexión de tobillo		
Equilibrio dinámico		
Fuerza en tren inferior		
Potencia y VO₂máx		
Motivación, disfrute, calidad de vida y sueño		
Glucemia en ayunas*		

Nota. * Se inició dos semanas antes, teniendo el registro total una duración de 4 semanas.

Día 1 de Valoraciones

En el primer día de valoraciones, los participantes acudieron al laboratorio de trabajo (7.00-9.00 am) donde se les entregó el documento de consentimiento informado en el que se detallaban las características del estudio. Una vez lo habían leído detenidamente procedían a cumplimentarlo y a firmarlo. Del mismo modo rellenaron los formularios IPAQ y PAR-Q (ver anexos 1 y 2). Después de ello, se realizó la valoración de la altura, la composición corporal y la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Se pidió a los sujetos que llegasen en ayuno (de al menos 10 horas) para evitar que la comida afectase los resultados de las pruebas y que evitaran el consumo de cafeína y alcohol en las 48 horas anteriores a la prueba (Alansare et al., 2018; Kong, Sun, et al., 2016; Ramos, Dalleck, Borrani, Beetham, Mielke, et al., 2017).

Altura y Composición Corporal. El primer factor que se midió fue la altura. Se realizó con un estadiómetro de pared (Seca™ 709, Hamburg, Germany). Los participantes se colocaban totalmente descalzos de espaldas a la pared y sin tener contacto con ella (10-15 cm de distancia), ajustándose el medidor a la parte más alta de la cabeza. Se tomó como registro el centímetro más cercano a la marca.

La medida de la composición corporal se realizó mediante bioimpedancia eléctrica (Tanita MC780MA, Tanita Corporation of America, Inc, Illionis, Estados Unidos) como se observa en la figura 14. Tras introducir la altura del sujeto, previamente obtenido, en el Software, el participante se subía a la báscula en ropa interior y sin complementos como relojes o collares, manteniendo la posición bípeda hasta que se completaba el registro del peso, la masa grasa y la masa libre de grasa.

Figura 14

Material Utilizado en la Evaluación de la Composición Corporal



Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca. La medida de la variabilidad de la frecuencia cardíaca se realizó en una sala a temperatura $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ y una humedad entre el 40-60%. Antes de iniciar la prueba se pidió a los participantes que, si no lo habían hecho ya, pasaran al baño a orinar, para evitar que este factor afectase a la medición (Antti M. Kiviniemi et al., 2014a).

El participante se colocaba la banda elástica Polar H10 (Polar Electro, Kempele, Finland) en el pecho. La posición estándar de la banda en hombres fue entre los pezones y en mujeres justo debajo del sujetador, aunque en determinados casos (ver figura 15) hubo que reajustar la banda para mejorar la conexión. La banda elástica se humedecía para que tuviese mayor adherencia a la piel. Tras ello, el sujeto se situaba en posición supina en una camilla estándar y se bajaba la intensidad de la luz de la sala para generar un ambiente más tranquilo y cómodo.

Figura 15*Valoración de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca*

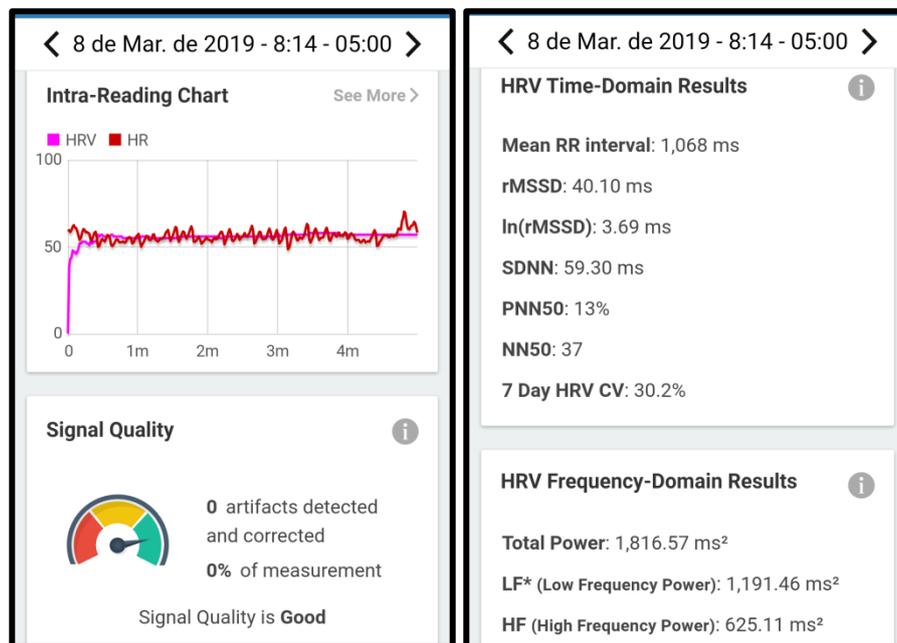
La banda elástica se conectaba por Bluetooth (Bluetooth SIG Inc, Kirkland, Washington, USA) a una tablet con la app *Elite HRV* (Elite HRV LLC®, Asheville, North Caroline, USA) integrada, la cual ha mostrado una correlación muy alta con datos referentes a la VFC en softwares más complejos y contrastados como Kubios HRV 2.2 (Perrotta et al., 2017). Con la conexión establecida, y después de 5 minutos de reposo absoluto del participante, se iniciaba la medición, que tenía 3 partes. Una primera parte que duraba 3 minutos en la que la app estabilizaba la señal sin registrarla, la segunda parte era de 5 minutos y ya se registraba la variabilidad de la frecuencia cardíaca y las pulsaciones por minuto. La última parte, de duración variable, consistía en la filtración de la señal y eliminación del ruido propio de este tipo de mediciones. Durante todo el tiempo de medición el participante permanecía en posición supina, totalmente relajado y respirando a un ritmo marcado por el metrónomo de *Elite HRV*, el cual se estableció en 15

respiraciones/min es decir 2 segundos de inspiración y 2 segundos de espiración. El periodo de registro se realizó de esta manera siguiendo la directriz de la Sociedad Europea de Cardiología publicada en 1996 y revisada en 2015 (Malik, 1996; Sassi et al., 2015) y según la metodología de estudios previos que realizaban el mismo tipo de medición (Alansare et al., 2018; Piras et al., 2015). Finalmente se obtenían los datos de los diferentes parámetros de la variabilidad de la frecuencia cardíaca que *Elite HRV* ofrece (ver figura 16): media RR entre intervalos, rMSSD, ln(rMSSD), SDNN, PNN50, NN50, Potencia total, LF, HF, ratio LF/HF, pulsaciones por minuto mínimas, máximas y la media.

Aunque todas las variables fueron registradas por la información potencial que contenían, finalmente, fueron analizadas estadísticamente el ratio LF/HF (ratio entre la activación simpática y parasimpática) y rMSSD (la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR sucesivos). Se analizaron estas dos variables debido a que han mostrado tener validez y fiabilidad estadística en mediciones de corta duración de la VFC como las realizadas en este estudio y además, la información que proporcionan ambas está relacionada con la modulación parasimpática del sistema nervioso autónomo, fundamental en la prevención de eventos cardiovasculares (Malik, 1996; Taralov et al., 2015).

Figura 16

Resultados en una Valoración de VFC mediante Elite HRV



Día 2 de Valoraciones

Otro día, no consecutivo, después de la primera medición, determinado en función de su disponibilidad, los participantes acudían al laboratorio donde completaban 3 valoraciones más. Estos test medían dorsiflexión de tobillo, equilibrio dinámico y la fuerza en base a la velocidad de las piernas de los sujetos. Debido a que eran pruebas relacionadas en cuanto a la ejecución y a las estructuras corporales implicadas, el orden de realización de las pruebas se contrabalanceó para bloquear el posible efecto de arrastre entre pruebas. De este modo, la secuencia en la realización de las 3 tareas no era igual en todos los participantes. No obstante, cada uno de ellos siguió el mismo procedimiento tanto en la valoración pre como en la post.

Fuerza de Miembros Inferiores. La fuerza en las piernas se valoró mediante la velocidad de ejecución en el movimiento de sentadilla con sobrecargas en barra del 50, 60 y 70% de la propia masa de cada participante, en máquina Smith sin contrapesos (Technogym S.p.A, Cesena, Italia), en la que dos guías verticales regulaban el movimiento de la barra. Se utilizó el movimiento de sentadilla ya que se trata de un ejercicio físico que requiere músculos relacionados con el pedaleo (movimiento que se realizó en el HIIT), en concreto, extensores de rodilla y extensores de cadera, y también porque es un movimiento relacionado con la funcionalidad humana (Johnston et al., 2016; Langhammer & Stanghelle, 2015; Myer et al., 2014). Del mismo modo, fue considerado por los investigadores el gesto más indicado para ser realizado por personas con poca experiencia en entrenamiento de fuerza y por la logística en el uso del dispositivo utilizado para medir.

El método seleccionado para determinar la mejora en la fuerza, fue la velocidad de ejecución, ya que esta variable es considerada actualmente como uno de los mejores sistemas para medir el esfuerzo real de la persona que está realizando el ejercicio físico (González-Badillo et al., 2011) y porque el objetivo de realizar un movimiento ante una misma carga a mayor velocidad, está relacionado con la funcionalidad física humana (Katsoulis et al., 2019; Muehlbauer et al., 2015).

El dispositivo utilizado para la medida de la velocidad de la barra fue un Encoder Speed4lift (Speed4lift S.L, Madrid, Spain). Este dinamómetro isoinercial consiste en un cable extensible lineal que se une a la barra verticalmente mediante velcro y que sale del dispositivo, el cual se sitúa en el suelo y está anclado a una plataforma mediante un potente imán para evitar que se desplace. El dispositivo es conectado por Wi-Fi a una tablet con la app Speed4lift v.4.1, mediante el cual se hace el registro de la velocidad de ejecución de

cada repetición del movimiento. Speed4lift ha demostrado estar a la cabeza de encoders en cuanto a validez y fiabilidad en la medida de velocidad de ejecución en ejercicio físicos de fuerza (Pérez-Castilla et al., 2019).

Las sobrecargas del 50, 60 y 70% de la masa del participante fueron seleccionadas por los investigadores para asegurar la competencia de los sujetos en el movimiento, para retar la fuerza del tren inferior de los participantes, es decir, para que fuera lo suficientemente fácil para poder completarlo, pero lo suficientemente exigente para que se tuvieran que esforzar al máximo y para simplificar el proceso de medición. Todos realizaron tareas de familiarización hasta que consiguieron ajustar su movimiento a la acción que se les pedía y así bloquear el efecto del aprendizaje. Además, se les grababa en vídeo para que corrigiesen errores, se les daban instrucciones y repitieron el gesto hasta adquirir la técnica adecuada.

El test comenzaba con la visualización de un video por parte de los participantes para recordar cómo realizar el movimiento que se les pedía. Tras ello, todos realizaron un calentamiento estándar de movilidad articular, estiramientos dinámicos, sentadillas y lunges. Después, con una pica de madera situada en la nuca se permitía a los participantes practicar el movimiento que posteriormente ejecutarían en el test, de este modo también, los investigadores corregían errores, si los había. Hasta que no se consideraba que la técnica de ejecución era la adecuada no se comenzaba el test. Ningún sujeto tuvo problemas en coordinar el movimiento con las especificidades que se propusieron.

Con el dispositivo situado a la izquierda de los participantes y conectado a la barra mediante el cable y a la tablet por Wi-Fi, se colocaban discos en la barra correspondientes al 50% de la masa del sujeto para la primera serie (teniendo en cuenta el peso de la barra), como se observa en la figura 17. La barra estaba anclada en la máquina Smith a una altura

en la que el sujeto pudiera colocársela en la parte superior de la espalda y levantarla fácilmente. Si era necesario se les ayudaba a quitar el anclaje de la barra. Se les dijo a los participantes que debían ejecutar tres sentadillas o squats en las que la fase concéntrica debía ser a la mayor velocidad posible (en esto se hizo mucho hincapié). También fueron instruidos a realizar la fase excéntrica del movimiento a velocidad controlada (2-3 segundos) y hasta que la zona inguinal estaba en proyección horizontal con la rodilla, con el objetivo de maximizar las mejoras de fuerza (Pallarés et al., 2020) y donde debían mantener la posición dos segundos antes de iniciar la fase concéntrica para evitar el efecto del ciclo de estiramiento-acortamiento muscular e incrementar así la validez del test (Pallarés et al., 2020; Romero-Moraleda et al., 2019). Estos rangos de movimientos se establecían con feedback auditivo en tiempo real proporcionado por los investigadores. Del mismo modo, no se permitía elevar los talones del suelo al final de la fase concéntrica ni separar la barra del cuerpo (la cual estaba amortiguada con una almohadilla ajustada a la barra). Por último, para la sentadilla se instó a los sujetos a que en esa flexión de rodilla, la proyección de ésta al suelo no superase el dedo pulgar del pie, simplemente, para asegurar que la dorsiflexión del tobillo no les limitara el movimiento.

Realizaron el ejercicio físico descalzos para evitar que el calzado influyera en el gesto. Cuando realizaban la primera serie, se cambiaban los discos para ajustar al 60% de la masa del sujeto y se volvía a repetir el procedimiento, lo cual se reprodujo para el 70% de la masa. Durante la ejecución del movimiento se animaba a los participantes para que desarrollaran el mayor rendimiento posible. Entre series se dejaron 5 minutos de descanso para tratar de minimizar el efecto de la fatiga y siempre se siguió el mismo orden en la colocación de las cargas en la barra.

Los datos registrados y posteriormente analizados estadísticamente fueron los correspondientes a la velocidad más alta de las tres repeticiones en la fase concéntrica del movimiento de cada carga y ejecutadas por el sujeto sin apoyo externo, ya que hubo participantes que en las últimas repeticiones de algunas series necesitaron ayuda externa para completar el movimiento, las cuales se desecharon en el análisis estadístico.

Figura 17

Valoración de la Velocidad de Ejecución en Sentadilla



Dorsiflexión de Tobillo

La evaluación de la dorsiflexión de tobillo se realizó mediante el *Weight-Bearing Lunge Test*. Este test ha demostrado tener validez y fiabilidad en la medición de la dorsiflexión de tobillo (Hall & Docherty, 2017). Antes de iniciar los movimientos, los participantes realizaron un calentamiento estándar de movilidad articular de tobillo, sentadillas y zancadas.

En la valoración, el participante se colocaba frente a la pared y realizaba el movimiento de “lunge”, flexionando rodilla y cadera, tratando de tocar la pared con la rodilla mientras mantenía el talón totalmente apoyado y en línea con el segundo dedo para evitar la pronación subtalar sobre una cinta adhesiva previamente colocada en el suelo de manera perpendicular a la pared. La pierna que no estaba siendo evaluada se colocaba detrás de la otra en una posición cómoda a elección del participante. Las manos podían ser apoyadas en la pared si la estabilidad se veía comprometida. Si el participante era capaz de mantener la rodilla y el talón apoyados en la pared y el suelo respectivamente, entonces se separaba el pie de la pared para conseguir una mayor dorsiflexión de tobillo. Cada sujeto realizó tres movimientos de prueba y fueron registrados los tres siguientes. Los investigadores instaron a los participantes a flexionar el tobillo todo lo que pudiesen, pero no se les animó durante la ejecución. Se realizó con ambas piernas en un orden aleatorio. (Langarika-Rocafort et al., 2017; Searle et al., 2018).

La distancia, en centímetros, entre el dedo pulgar y la pared fue registrada en cada uno de los tres intentos. La media de los tres datos obtenidos fue lo que se utilizó para el análisis estadístico (Hall & Docherty, 2017).

Para que posteriormente en los entrenamientos, la altura del sillín del cicloergómetro no influyese en el grado de flexión del tobillo, se estandarizó la altura al nivel de la parte superior de la cresta ilíaca del participante que iba a entrenar en ese momento. A posteriori, tras la medición post-intervención se preguntó a los participantes con cuál de las dos piernas golpearían un balón de fútbol (Rabin et al., 2015; Sadeghi et al., 2000), con el objetivo de conocer la dominancia y tener más información para la comprensión de los resultados obtenidos.

Equilibrio Dinámico

Esta variable se midió mediante el *Y-test*, una variante del *Star Excursion Balance Test*, que ha demostrado ser una herramienta válida y fiable en la medida del equilibrio dinámico (Benis et al., 2016; Plisky et al., 2009), y que correlaciona significativamente con el WBLT en cuanto al rendimiento en dorsiflexión de tobillo (Kang et al., 2015).

El *Y-test* requiere una marca en el suelo con forma de “Y”, una línea en sentido anterior (A), otra posterolateral (PL) y otra posteromedial (PM). Entre la línea anterior y ambas posteriores hay 135° y entre las posteriores hay 90° (ver figura 18). Antes de realizar el test, los participantes observaron un vídeo demostrativo de cómo se debían hacer los movimientos correctamente y qué acciones anularían la ejecución. Tras el visionado del video, los participantes realizaron 5 minutos de bicicleta estática a una intensidad de 50W, estiramientos dinámicos de psoasíaco y aductores, sentadillas y zancadas laterales, todo ello a modo de calentamiento. Tras ello, podían practicar hasta 6 veces la ejecución del movimiento en cada dirección para bloquear el efecto del aprendizaje. Para evitar variaciones en los resultados por la estandarización de los mismos, todos los participantes realizaron el test descalzos. En el punto intermedio entre las tres líneas, el participante situaba el mediopié, estando orientado en dirección a la línea anterior, dejando a su espalda las líneas posteriores (figura 18). Desde esta posición, debía tocar la línea correspondiente con el pie (dedo pulgar) de la pierna no apoyada y regresar a la posición inicial sin apoyar dicha pierna.

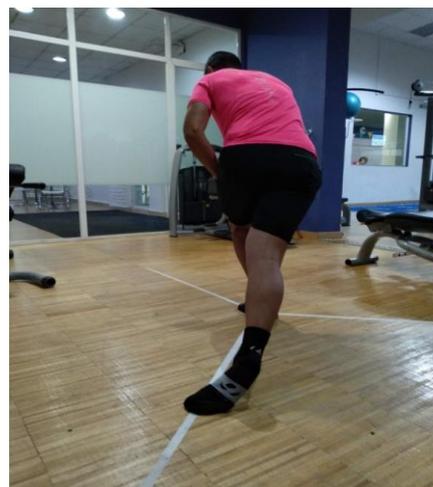
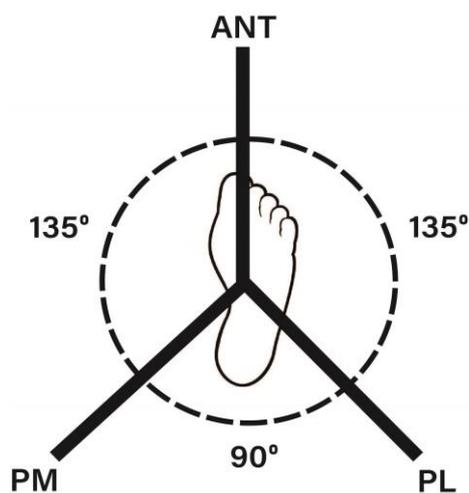
El sujeto completaba tres intentos consecutivos en cada dirección y para reducir la fatiga se iban alternando las piernas entre cada dirección. Un intento se consideraba nulo si se apoyaba todo el pie en la línea para llegar más lejos, se perdía el equilibrio al regresar a la posición inicial o no se tocaba la línea al realizar el movimiento. En cada movimiento se

realizaba una marca sobre la línea para luego determinar (con cinta métrica) la distancia alcanzada (Benis et al., 2016; Linek et al., 2017).

Para realizar el cálculo de la puntuación, se registró la media de los tres intentos en cada dirección con cada pie. Para anular el efecto de la altura de cada participante se normalizaron los resultados con la altura de cada uno mediante la siguiente fórmula: $(\text{distancia}/\text{altura}) * 100$ (Benis et al., 2016; Gribble & Hertel, 2003; Linek et al., 2017; Plisky et al., 2009; Shah et al., 2017).

Figura 18

Valoración del Equilibrio Dinámico Mediante Y-Test



Nota. La imagen de la izquierda fue extraída de Powden et al., 2019.

Día 3 de Valoraciones

Potencia y Consumo Máximo de Oxígeno. Para determinar la potencia (PPO en sus siglas en inglés de *peak power output*) a la que cada participante del grupo experimental realizaría posteriormente sus entrenamientos tipo HIIT y el consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{máx}$), se realizó un test incremental en cicloergómetro (Excite Unity 3.0, Technogym S.p.A, Cesena, Italia), utilizando un analizador de gases portátil (PNOE, Athens, Greece), que

fue calibrado con aire ambiente en cada medición y que cuenta con una alta validez y fiabilidad (Tsekouras et al., 2019).

Antes de comenzar el test, todos los participantes median su nivel de glucemia. Se les pidió que trataran de llegar con un valor glucémico superior a 100mg/dl y menor de 250mg/dl. No se pidió ajustar la insulina previa a la sesión. Si aun así no alcanzaban los 100mg/dl, ingerían carbohidratos de rápida absorción estaban disponibles para ellos (15-30g). Si la glucemia era superior a 250mg/dl, en ausencia de cetosis, se administraba una pequeña dosis de insulina (Farinha et al., 2018; Scott et al., 2018). Hasta que la glucemia no estaba en parámetros correctos y seguros no se iniciaba el test. Tras ello, se les explicaba en qué iba a consistir el test y la importancia de que fuera máximo. Se colocaba entonces la máscara del analizador de gases (ver figura 19) y se ajustaba la altura del sillín al nivel de la parte superior de la cresta ilíaca de cada participante.

La prueba comenzaba con 5 minutos de calentamiento a 40 Watios (W), tras ese tiempo se iba incrementando en 20 W de potencia cada minuto, hasta la extenuación. Tras ello, se realizaba una vuelta a la calma con duración de 5 minutos a 40 W (Moser et al., 2015). La frecuencia cardíaca fue monitorizada continuamente con un Polar H10 (Polar Electro, Kempele, Finland) que iba vinculada vía Bluetooth® al analizador de gases. Los participantes fueron intensamente animados durante el test para desarrollar su máximo esfuerzo posible y se les exigió mantener una cadencia constante superior a 70 rpm (Smith-Ryan et al., 2016). Se registró el pico de VO_2 , obtenido en los 15 segundos previos a finalizar el ejercicio físico y se registró también la potencia alcanzada en el momento de cesar la prueba (Scott et al., 2018). Este dato posteriormente sería el que determinaría la intensidad individualizada en los entrenamientos del grupo experimental (Moser et al., 2015).

Para evitar que la hora del día influyese en los participantes en el momento de desarrollar su máximo rendimiento físico, el test pre y post se realizó a la misma hora del día. Del mismo modo y para bloquear el efecto del ciclo menstrual en las mujeres, el test se realizó siempre en la misma semana de su período, evitando la fase lútea, ya que es la fase en la que más se ve afectada la capacidad aeróbica y la sensibilidad a la insulina en mujeres (S. A. Brown et al., 2015; Constantini et al., 2005; Trout et al., 2007).

Figura 19

Valoración del VO₂máx y la PPO



Motivación, Disfrute y Calidad de Vida y Sueño

En este estudio también se analizaron variables psicológicas relacionadas con la calidad de vida de los participantes y con su percepción del ejercicio físico.

Para analizar la calidad de vida, todos los participantes completaron el cuestionario *Short Form Health Survey-36 (SF-36)*, expuesto en el anexo 6. Aunque no es específico para la diabetes, es un instrumento genérico, válido y fiable para medir la calidad de vida y sus componentes son útiles para analizar la carga de síntomas de la diabetes (Engberg et al., 2018; Wegeberg et al., 2019). Este test contiene 36 preguntas incluyendo 8 factores sobre

salud funcional y bienestar: funcionalidad física (FF), rol físico (RF), dolor corporal (DC), salud general (SG), vitalidad (VT), funcionalidad social (FS), rol emocional (RE) y salud mental (SM). Para cada parámetro, la puntuación se codifica, sumada y normalizada a una escala de 0 (peor condición posible) a 100 (mejor condición posible)(Galilea-Zabalza et al., 2018; Ware & Gandek, 1998).

La calidad del sueño que los sujetos percibían se analizó con otro test, el *Pittsburgh sleep quality index* (PSQI), un cuestionario clínico (ver anexo 4) que analiza el comportamiento en relación al sueño y que ha sido validado para su uso con pacientes con diferentes enfermedades crónicas y la población general (Buysse et al., 1989; Zhou et al., 2016). El PSQI es un instrumento que analiza la calidad del sueño percibida de manera subjetiva y los desórdenes relacionados. Este cuestionario recoge siete subescalas: (1) calidad del sueño subjetiva (desde muy buena a muy mala), (2) tiempo hasta dormirse (desde <15 minutos a >60 minutos), (3) duración del sueño (>7 horas a <5 horas), (4) eficiencia del sueño (desde >85% a <65% horas durmiendo/horas en la cama), (5) alteraciones del sueño (desde ninguna en los últimos 3 meses a >3 veces por semana), (6) medicación (desde ninguna a >3 veces por semana) y (7) disfunción diurna (desde no tener ningún problema a ser un gran problema). Se divide en 10 preguntas, de las cuales 1-4 son abiertas y 5-10 son semi-abiertas (Castro et al., 2018; Jurado-Fasoli et al., 2020). La puntuación va desde 0 hasta 21, donde puntuaciones mayores de 5 indican una pobre calidad del sueño. A menor puntuación, mejor calidad del sueño. Cada subescala puntúa entre 0 y 3. La puntuación total se obtiene con la suma de las 7 subescalas (Buysse et al., 1989; S. Delevatti et al., 2018).

Del mismo modo, se estudió la motivación que el ejercicio físico les producía. Para ello se utilizó un cuestionario validado, el *Behavioral regulation in exercise questionnaire-2*

(BREQ-2), adjunto en el anexo 5, el cual permitió conocer el tipo de regulación motivacional que los participantes tenían hacia el ejercicio físico antes del comienzo del estudio y al finalizarlo. El BREQ-2 es un test compuesto por 19 preguntas, a través de las cuales se analiza el grado de satisfacción de las NPB, lo cual se asocia con las diferentes subescalas de motivación que analiza la TAD. Estas subescalas son la motivación intrínseca (el ejercicio físico se hace porque se disfruta), motivación identificada (se hace ejercicio físico por los beneficios que supone), motivación introyectada (se hace ejercicio físico porque si no genera sentimientos negativos, entre otros, de culpabilidad), motivación externa (se hace ejercicio físico por demanda externa o búsqueda de recompensa) y desmotivación (no se siente necesidad de hacer ejercicio físico). Se utilizó una escala Likert de 5 puntos desde 1 = “en total desacuerdo” a 5 = “totalmente de acuerdo”, para determinar la puntuación de todas las cuestiones, las cuales se iniciaban con la instrucción: “Yo hago ejercicio...”. A cada subescala le correspondían determinados ítems y la puntuación total de cada subescala se obtuvo con la suma de dichos ítems (Murcia et al., 2007).

De la misma manera, y para conocer el disfrute que el ejercicio físico le ocasionaba a los participantes de la presente investigación, todos ellos también completaron el cuestionario *Physical activity enjoyment scale* (PACES), expuesto en anexo 3 y que está compuesto por 16 ítems (Moreno et al., 2008). Este instrumento consiste en preguntas relacionadas con el disfrute del ejercicio físico con la instrucción “cuando estoy activo...”. Este test se puntúa en una escala bipolar de 5 puntos desde 1, que en los ítems positivos (“lo disfruto”, “me da energía”, por ejemplo) significa estar en total desacuerdo y en los ítems negativos (“lo odio”, “me frustra”, por ejemplo) significa estar totalmente de acuerdo; hasta 5 que en los ítems positivos significa estar en total de acuerdo y en los ítems negativos,

significa estar totalmente en desacuerdo. Las puntuaciones más altas denotan mayores niveles de disfrute. La puntuación más alta es 80.

Con ello, se consigue saber si la percepción que los sujetos tienen del ejercicio físico es positiva o negativa. Esta variable se registró antes y después del periodo de entrenamiento. Este dato proporciona información interesante sobre la adherencia que un protocolo de HIIT puede promover en una población con DT1.

Todos los cuestionarios se les facilitaron de manera on-line con la herramienta de cuestionarios de Google Drive (Google LLC, California, EEUU) para agilizar el procedimiento y hacer el registro y el análisis de datos de manera más eficiente. Los cuestionarios fueron enviados por correo electrónico a los participantes para que lo completasen antes del inicio del periodo de intervención (ver anexo 7). Así mismo, al finalizar dicho periodo, los cuestionarios fueron de nuevo enviados a cada uno de los sujetos para que lo completasen nuevamente.

Glucemia en Ayunas

Para conocer la concentración de glucosa que los participantes tenían en ayunas se les pidió que durante cuatro semanas (antes y después de la intervención) registraran la glucosa al despertarse por las mañanas mediante una muestra de sangre obtenida en los dedos de las manos. Se les pidió que lo realizaran siempre a la misma hora y con el mismo medidor de glucosa, manteniendo su dieta habitual sin alteraciones. Los medidores de glucemia utilizados por los participantes debían ser, aunque de diferentes modelos, de las siguientes marcas: FreeStyle (FreeStyle Libre system; Abbott Diabetes Care, Alameda, CA) y Accu-Chek (Accu-chek glucometer, Roche, USA); ya que están aprobados y recomendados por la Sociedad Tecnológica de Diabetes y eran accesibles para todos los participantes sin

excepción (Klonoff et al., 2018). Para facilitar el procedimiento, los participantes registraban diariamente con sus teléfonos móviles los datos en un archivo de Google Drive compartido (Google LLC, California, EEUU).

Protocolo de Entrenamiento

El entrenamiento HIIT que realizó el grupo experimental era tipo 1:2, es decir, el periodo de alta intensidad duraba la mitad de tiempo que el periodo de descanso activo. Este protocolo fue elegido en base a investigaciones previas que trabajaban con personas sedentarias y que utilizaron tipos de HIIT en los que los intervalos de descanso eran más largos que los de alta intensidad (Alansare et al., 2018; Allen et al., 2017; Kong, Fan, et al., 2016; Ruffino et al., 2017) y por experiencia profesional de los investigadores con el objetivo de que el protocolo utilizado fuera tolerable por los participantes y del mismo modo tuviera características propias de un entrenamiento tipo HIIT.

Todos los entrenamientos se realizaron en el mismo cicloergómetro en el que se desarrolló el test incremental (Excite Unity 3.0, Technogym S.p.A, Cesena, Italia). Cada entrenamiento comenzaba con un calentamiento de 5 minutos a 50 W. Tras ello se alternaban intervalos de 30 segundos a una potencia individualizada de 85% de la PPO, obtenida en el test incremental inicial, con intervalos de 60 segundos al 40% de la PPO de recuperación activa. Finalmente, realizaban 5 minutos más a 50 W como vuelta a la calma. La cadencia durante los periodos de alta intensidad debía permanecer por encima de 70 rpm, mientras que en los intervalos de descanso activo se les permitía bajar hasta 50 rpm.

Para controlar las adaptaciones generadas por el entrenamiento y mantener la exigencia del ejercicio físico, el volumen se fue incrementando. Las dos primeras semanas de

entrenamiento realizaron 12 series de alta intensidad, las dos siguientes semanas, 16 series y terminaron con 20 series las dos semanas finales (Scott et al., 2018).

Realizaron en total 18 sesiones de entrenamiento, 3 sesiones por semana durante 6 semanas. Cada participante estableció un horario para realizar los entrenamientos que mantuvieron durante toda la intervención (entre las 7.00 y las 17.00 horas) de lunes a viernes, para evitar que la variabilidad de la glucemia, entre otros factores, influyesen en su rendimiento. Después de cada entrenamiento, los participantes debían controlar su nivel de glucemia frecuentemente y notificar a los investigadores si les sucedía algún episodio de hipoglucemia ($<70\text{mg/gl}$) o hiperglucemia ($>270\text{mg/dl}$) (Riddell et al., 2017).

Para asegurar que los entrenamientos se realizan bajo condiciones reales no se le pidió a los participantes que ajustaran la dosis de insulina, pero que la administración exógena fuera siempre en la misma parte del cuerpo para evitar diferencias en la cinética de la insulina desde el tejido subcutáneo (Mallad et al., 2015; Scott et al., 2018). Tampoco se les pidió que tomaran más carbohidratos de los que acostumbran, simplemente que no llegasen en ayunas y la última comida fuera antes de los últimos 30 minutos antes de entrenar (Scott et al., 2018). Se les exigió que llegasen con una glucemia superior a 100mg/dl y menor de 250mg/dl , si no era así, había carbohidratos de rápida absorción disponibles, de los que debían tomar entre 15-30g, para subsanar una posible situación de hipoglucemia. Si por el contrario, la glucemia fuera muy elevada ($>250\text{mg/dl}$) en ausencia de cetosis, se realizaría un pequeño ajuste en la administración de insulina para corregirlo. Con esto se pretendía asegurar que las personas realizaban los entrenamientos en situaciones reales en las que desconocen el ajuste preciso insulina-glucosa-tipo de ejercicio físico y donde solo tienen que tener en cuenta unas pequeñas pautas (Farinha et al., 2017, 2018; Scott et al., 2018).

Por su parte, a los participantes del grupo control se les exigió no realizar ningún tipo de ejercicio físico, simplemente que mantuviesen su actividad diaria normal. Ambos grupos debían mantener sus hábitos dietéticos sin cambios durante el periodo de intervención, salvo cuando se debían hacer ajustes calóricos para poder realizar los entrenamientos.

Figura 20

Participante en una de las Sesiones HIIT



Recogida de Datos y Análisis Estadístico

Los datos recabados en las valoraciones (tanto pre- como post-intervención) fueron recogidos en un archivo Excel® para su posterior análisis con el software SPSS®. Dichos datos fueron estudiados en primer lugar para contrastar si seguían una distribución normal. Esta prueba se realizó con el test Shapiro-Wilks, ya que en el registro había menos de 50 datos por variable (Field, 2013). Para las variables cardiovasculares, funcionales y disfrute y calidad del sueño pertenecientes al bloque de variables psicológicas, se utilizaron pruebas paramétricas al tener distribución normal. En cambio, en las variables psicológicas de calidad

de vida y motivación, al no poder asumirse la normalidad de los datos, se recurrió al análisis no paramétrico. El nivel de significación se estableció en $p < 0,05$ para ambos tipos.

En todas las variables se comparó el grupo HIIT y el control en ambos periodos de tiempo (pre- y post-intervención), así como a cada uno de los grupos en sus dos periodos de evaluación. Para ello, en análisis paramétrico, se utilizó una ANOVA factorial mixta de dos vías, con el factor intergrupo “grupo” (HIIT vs control) y factor intra-grupo “estado de entrenamiento” (pre-intervención vs post-intervención), seguido de correcciones de Bonferroni para ajustar el error tipo 1.

Por su parte, las pruebas de Wilcoxon y Mann-Whitney fueron utilizadas para el análisis no paramétrico intragrupo e intergrupo respectivamente. Para conocer la magnitud del cambio entre medias o el tamaño del efecto entre grupos se utilizó la d Cohen. Este valor indica cuántas desviaciones típicas de diferencia hay entre los resultados de los dos grupos en la medición post-intervención realizada por los investigadores. Se considera que valores inferiores a 0,2 indican un efecto de pequeño tamaño, 0,5 de magnitud media y 0,8 indica un efecto de alta magnitud (Cleophas & Zwinderman, 2016; Field, 2013).

Resultados

Los resultados de la presente investigación se van a exponer en 3 categorías diferentes: variables de riesgo cardiovascular, variables funcionales y variables psicológicas, agrupando las diferentes variables que han sido analizadas en este estudio. Del mismo modo, para cada variable se presentan los datos obtenidos en las valoraciones pre y post, así como su relación estadística. Para representar los datos de manera visual y facilitar su comprensión, se muestran gráficos basados en los resultados obtenidos.

Variables de Riesgo Cardiovascular

En esta investigación se analizaron cuatro factores de riesgo cardiovascular: el consumo máximo de oxígeno, la composición corporal, la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la glucemia en ayunas.

En los resultados se observa la misma tendencia para todas las variables relacionadas con el riesgo cardiovascular: se encontraron cambios positivos significativos ($p < 0,05$) en el grupo que realizó el protocolo de 6 semanas de HIIT mientras que en el grupo control no hubo cambios reseñables ($p > 0,05$).

El consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{máx}$) aumentó en el grupo experimental un 8,9% ($p < 0,05$) después del periodo de entrenamiento, mientras que en el grupo control no hubo cambios significativos (0,4%).

Por su parte la composición corporal varió en el grupo experimental al reducir su grasa corporal un 6,4% y aumentar su masa libre de grasa un 3,4% también de manera significativa ($p < 0,05$). Mientras que en el grupo control estos cambios fueron del 0,5% y 0,6% respectivamente, no mostrando significación estadística ($p > 0,05$).

En cuanto a la variabilidad de la frecuencia cardíaca, los parámetros analizados, relacionados con la activación del sistema nervioso parasimpático (rMSSD y el ratio LF/HF), cambiaron en las personas que entrenaron, aumentando un 17,2% y reduciéndose un 42,3% respectivamente ($p < 0,05$), a diferencia de los que no lo hicieron, en los que no hubo cambios significativos (rMSSD se redujo un 1,7% y el ratio LF/HF lo hizo un 9,5%).

La glucemia registrada por parte de los participantes en ayunas, disminuyó un 7,8% en el grupo experimental ($p < 0,05$) mientras que en el grupo control aumentó un 3,1%, siendo este dato irrelevante estadísticamente ($p > 0,05$).

Tabla 9

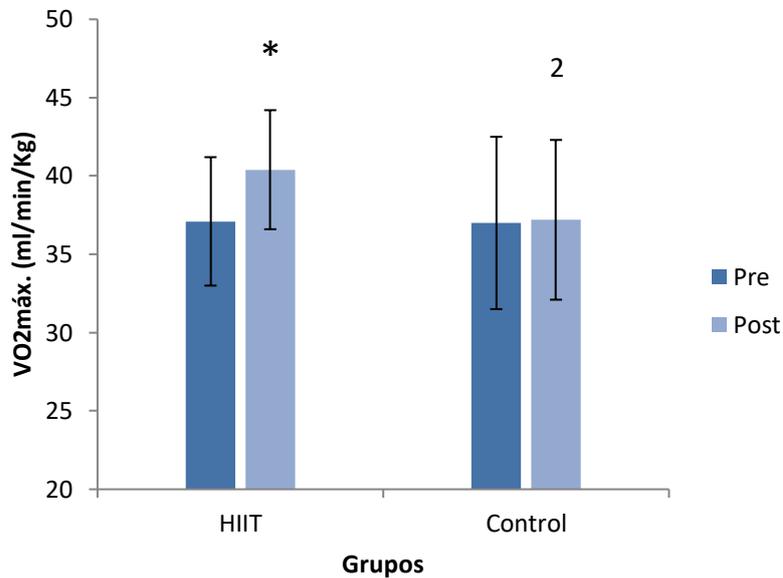
Valores Pre y Post Periodo de Intervención de las Variables Relacionadas con Factores de Riesgo Cardiovascular.

	HIIT (n=11)		Control (n=8)		d Cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
VO ₂ máx (ml/min/kg)	37,1±4,1	40,4±3,8*	37,0±5,5	37,2±5,1 ²	0,71
Masa grasa (Kg)	17,1±4,4	16,0±4,2*	15,4±4,5	15,3±4,6	0,16
Masa libre grasa (Kg)	53,5±8,7	55,3±8,8*	57,6±9,8	57,9±10,0	0,28
rMSSD (ms)	37,8±27,9	44,3±27,7*	40,0±15,9	39,3±16,5	0,22
LF/HF ratio (ms ²)	2,6±1,6	1,5±0,9*	2,1±2,0	1,9±2,2	0,23
Glucemia en ayunas (mg/dl)	135±24,9	124,5±15,6*	131,8±21,1	135,9±25,0	0,54

Nota. Los datos se presentan en medias ± desviación típica, n: número de sujetos; HIIT: grupo experimental; Control: grupo control; * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ¹ $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del otro grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 21

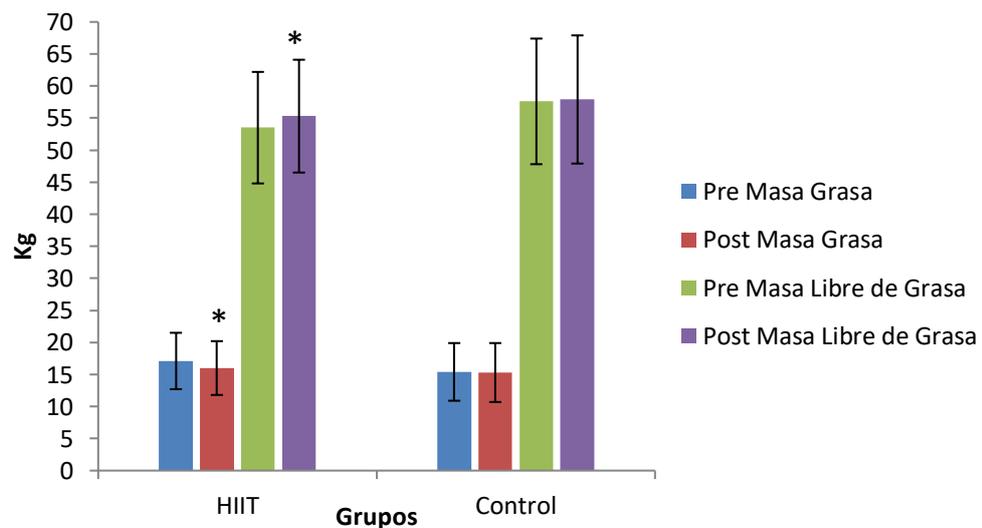
Comparación del VO₂máx Entre Grupos y Periodos de Valoración.



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 22

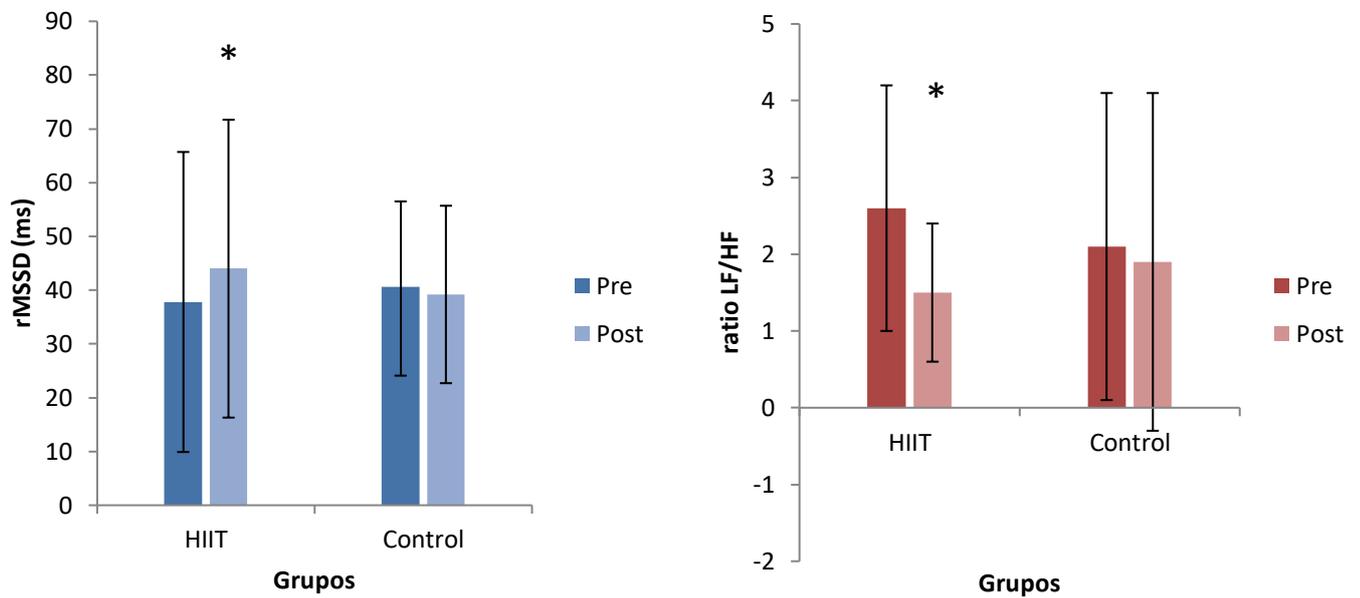
Comparación de la Composición Corporal entre Grupos y Periodos de Valoración



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo.

Figura 23

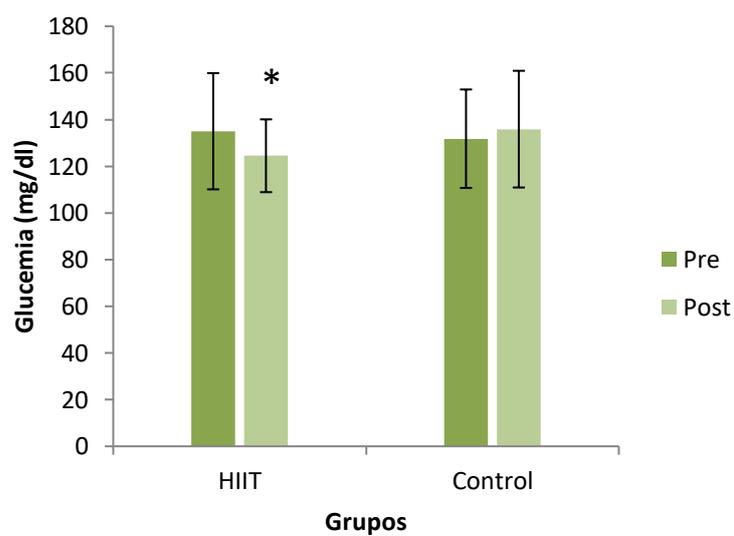
Comparación de la VFC entre Grupos y Periodos de Valoración



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo.

Figura 24

Comparación de la Glucemia en Ayunas entre Grupos y Periodos de Valoración



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo.

VARIABLES FUNCIONALES

En el presente estudio se analizaron 3 variables asociadas a la funcionalidad física de las personas con diabetes tipo 1: fuerza en miembros inferiores, equilibrio dinámico y dorsiflexión de tobillo.

La fuerza en miembros inferiores experimentó cambios significativos después del periodo de entrenamiento de 6 semanas de HIIT. Con el 50% de su masa corporal como carga adicional, los participantes del grupo experimental aumentaron su velocidad de ejecución en sentadilla un 10,1%, para el 60% de la masa, un 9,5% y para el 70%, hubo una mejora del 10,1%. Todos estos cambios resultaron en una significación estadística ($p < 0,05$). En el grupo control, por su parte, no hubo cambios significativos entre la valoración pre y la post periodo de intervención ($p > 0,05$).

Es interesante destacar que el grupo experimental en la valoración post con el 60% de la masa corporal, fueron capaces de alcanzar una velocidad similar a la que habían obtenido en la valoración pre con el 50% de la masa corporal como carga adicional. La misma situación ocurrió en la valoración post con el 70% de la masa y la valoración pre con el 60%. Esto indica que, tras el periodo de entrenamiento, con un 10% más de carga habían sido capaces de generar, al menos, la misma aceleración en el movimiento de sentadilla.

Tabla 10

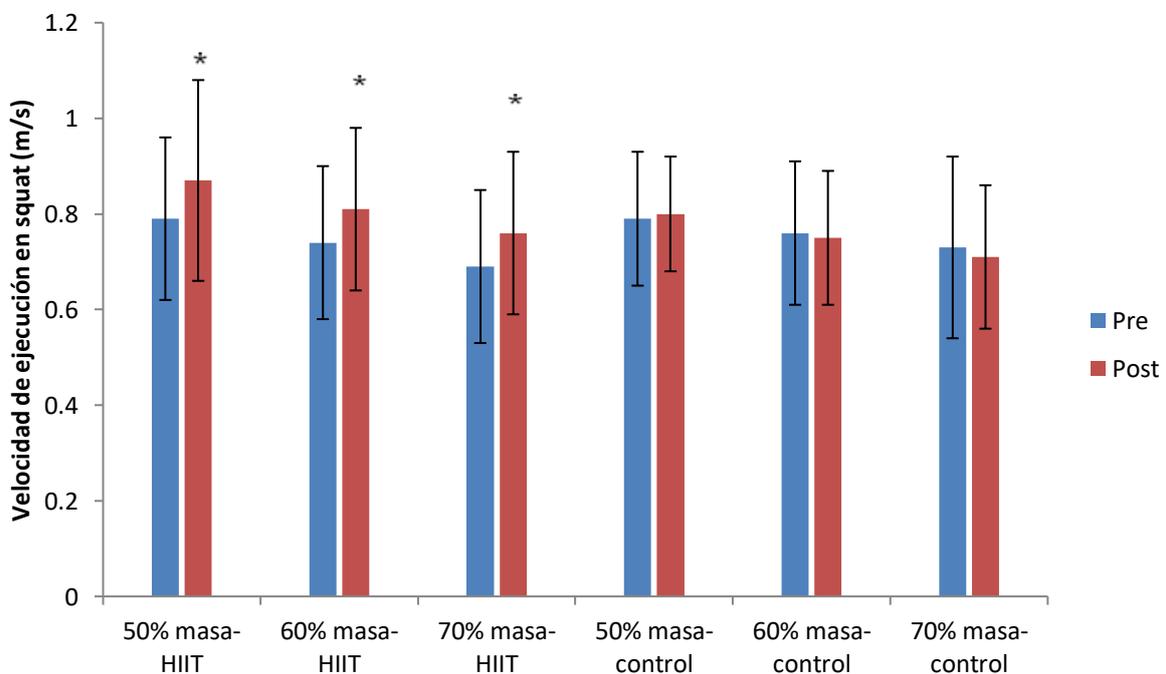
Valores Pre y Post Periodo de Intervención de la Velocidad de Ejecución en Sentadilla

Velocidad	HIIT (n=11)		Control (n=8)		D cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
50% mc (m/s)	0,79±0,17	0,87±0,21*	0,79±0,14	0,80±0,12	0,44
60% mc (m/s)	0,74±0,16	0,81±0,17*	0,76±0,15	0,75±0,14	0,6
70% mc (m/s)	0,69±0,16	0,76±0,17*	0,73±0,19	0,71±0,15	0,5

Nota. Los datos se presentan en medias \pm desviación típica, n: número de sujetos; mc: masa corporal; HIIT: grupo experimental; Control: grupo control; * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ¹ $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del otro grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 25

Comparación de la Velocidad de Ejecución en Sentadilla entre Grupos y Periodos de Valoración, Según la Carga utilizada



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo.

En el equilibrio dinámico, medido mediante el Y-test, también se produjeron cambios entre ambas valoraciones en el grupo experimental (pre-post intervención). Para la pierna derecha, hubo un aumento significativo ($p < 0,05$) del 4,3% y del 3,5% en la dirección anterior y posterolateral respectivamente. En cambio, en la dirección posteromedial no hubo cambio significativo para esta pierna (1,9%). Por su parte, en la pierna izquierda, en la dirección anterior hubo una mejora del 6,1% ($p < 0,05$), en la posterolateral, se mejoró un 4,6% y en la posteromedial, un 5,3%, ambas también de manera significativa ($p < 0,05$). El grupo control no experimentó cambios entre ambas valoraciones en ninguna extremidad y para ninguna dirección ($p > 0,05$). Es importante destacar que los resultados están normalizados según la altura de los participantes para bloquear el efecto de dicho parámetro en los resultados.

Tabla 11

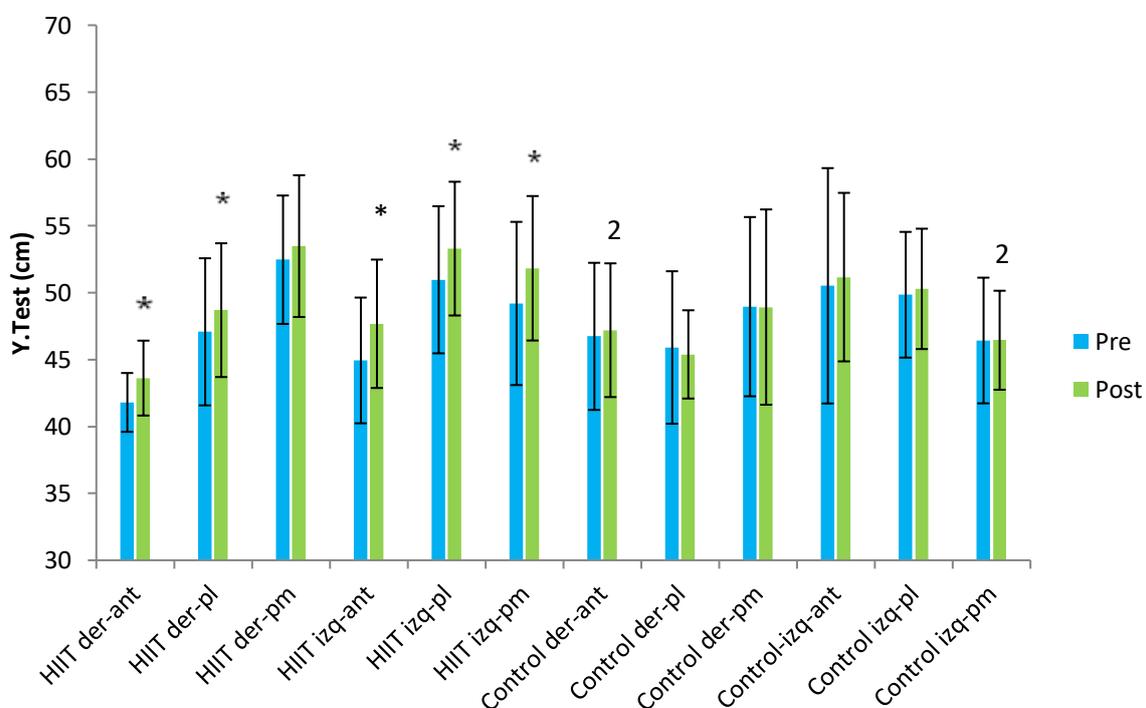
Valores Pre y Post Periodo de Intervención del Y-Test para el Equilibrio Dinámico

Dirección-pierna	HIIT (n=11)		Control (n=8)		D cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
A-derecha (cm)	41,81±2,28	43,61±2,78*	46,74±5,56	47,20±4,97 ²	0,90
PL-derecha (cm)	47,08±5,54	48,68±5,08*	45,91±5,78	45,39±3,35	0,78
PM-derecha (cm)	52,47±4,82	53,49±5,34	48,96±6,71	48,93±7,36	0,72
A-izquierda (cm)	44,94±4,75	47,68±4,87*	50,52±8,80	51,17±6,34	0,60
PL-izquierda (cm)	50,97±5,54	53,30±4,98*	49,85±4,70	50,29±4,54	0,65
PM- izquierda (cm)	49,20±6,11	51,83±5,45*	46,43±4,73	46,45±3,76 ²	1,1

Nota. Los datos se presentan en medias \pm desviación típica, n: número de sujetos; HIIT: grupo experimental; Control: grupo control; * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ¹ $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del otro grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 26

Comparación del Equilibrio Dinámico entre Grupos, Periodo de Valoración y Según la Extremidad Analizada y la Dirección del Y-Test



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Es necesario resaltar que tras observar los resultados obtenidos tras el análisis estadístico en las diferentes direcciones de ambas extremidades, la diferencia entre el rendimiento en la pierna izquierda y la derecha. Por ello, utilizando T-test de muestras relacionadas en SPSS, se descubrió que en las direcciones A y PL de ambos grupos las diferencias que habían sido detectadas eran significativas ($p < 0,05$), teniendo la pierna izquierda un mejor rendimiento en dichas direcciones.

La dorsiflexión de tobillo mejoró un 15,5% en el pie izquierdo de los participantes del grupo HIIT y un 11,3% en el pie derecho ($p>0,05$). El grupo control no mostró cambios resaltables ($p>0,05$).

Tabla 12

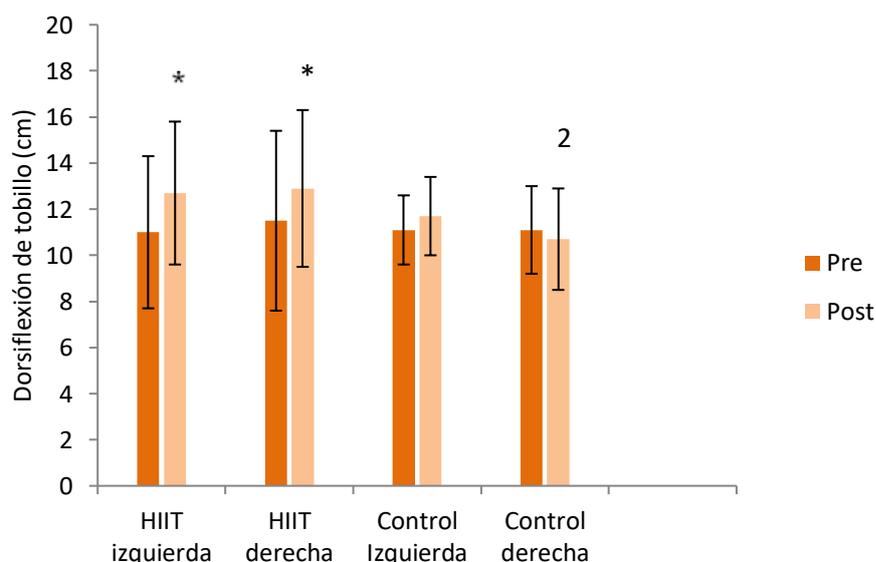
Valores Pre y Post Periodo de Intervención del WBLT para la Dorsiflexión de Tobillo

Pierna	HIIT (n=11)		Control (n=8)		D Cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
Izquierda (cm)	11,0±3,3	12,7±3,1*	11,1±1,5	11,6±1,7	0,44
Derecha (cm)	11,5±3,9	12,8±3,4*	11,0±1,9	10,4±2,2 ²	0,84

Nota. Los datos se presentan en medias \pm desviación típica, n: número de sujetos; HIIT: grupo experimental; Control: grupo control; * $p<0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ¹ $p<0,05$ en comparación con el valor pre del otro grupo; ² $p<0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 27

Comparación de la Dorsiflexión de Tobillo entre Grupos, Periodo de Valoración y Extremidad Evaluada.



Nota. * $p<0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ² $p<0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

VARIABLES PSICOLÓGICAS

En este estudio también se analizaron variables psicológicas relacionadas tanto con la percepción de calidad de vida y sueño de los sujetos, como del disfrute y la motivación que el ejercicio físico les supone.

La motivación hacia el ejercicio físico sufrió un cambio relevante entre ambos periodos de valoración. Los tipos de motivación con carácter autodeterminado (intrínseca e identificada) aumentaron significativamente un 13% y un 8,2% respectivamente ($p < 0,05$). Sin embargo, los tipos de motivación menos autodeterminados (externa y desmotivación) se redujeron un 34,7% y un 46,6% respectivamente ($p < 0,05$). Por su parte, la motivación introyectada, no sufrió cambios reseñables. La motivación hacia el ejercicio físico se mantuvo constante en el grupo control, sin cambios significativos.

Tabla 13

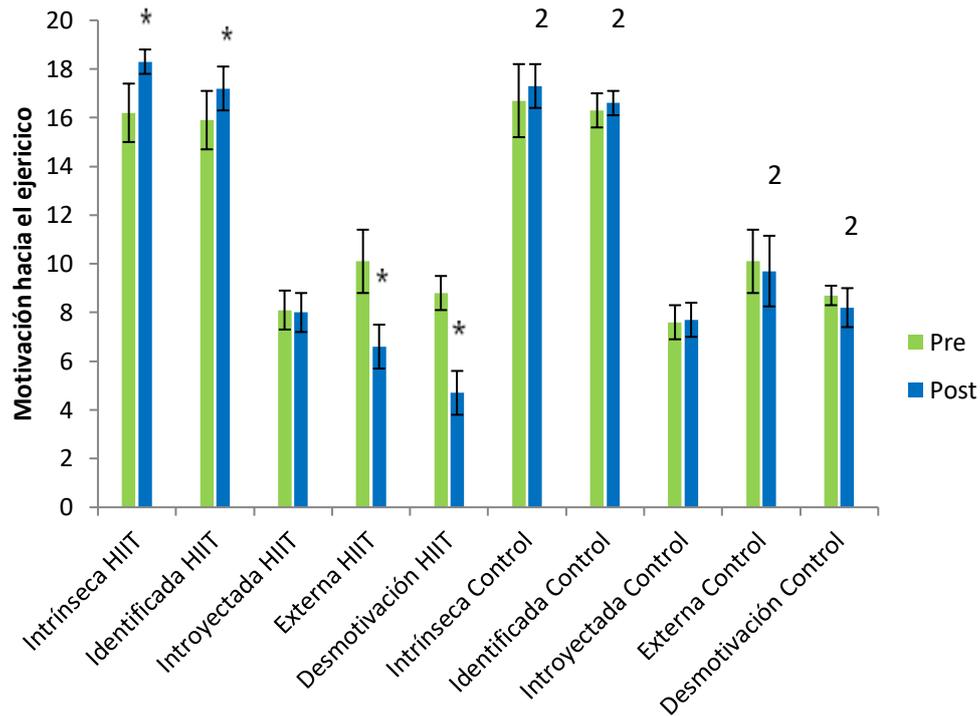
Valores Pre y Post Periodo de Intervención de las Dimensiones del Continuo Propuesto en la Teoría de la Autodeterminación

Tipo de motivación	HIIT (n=11)		Control (n=8)		D Cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
Intrínseca	16,2±1,2	18,3±0,5*	16,7±1,5	17,6±0,9 ²	0,96
Identificada	15,9±1,2	17,2±0,9*	16,3±0,7	16,6±0,5 ²	0,82
Introyectada	8,1±0,8	8,0±0,8	7,6±0,7	7,7±0,7	0,39
Externa	10,1±1,3	6,6±0,9*	10,1±1,3	9,7±1,45 ²	2,63
Desmotivación	8,8±0,7	4,7±0,9*	8,7±0,4	8,2±0,8 ²	4,1

Nota. Los datos se presentan en medias \pm desviación típica, n: número de sujetos; HIIT: grupo experimental; Control: grupo control; * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ¹ $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del otro grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo

Figura 28

Comparación de la Motivación Según la Teoría de la Autodeterminación entre Grupos y Periodo de Valoración



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Respecto a la calidad de vida de los participantes, todas las variables relacionadas con la funcionalidad física y social obtuvieron mejoras significativas ($p < 0,05$), en cambio las relacionadas con el aspecto mental y emocional, no sufrieron cambios ($p > 0,05$).

Tabla 14

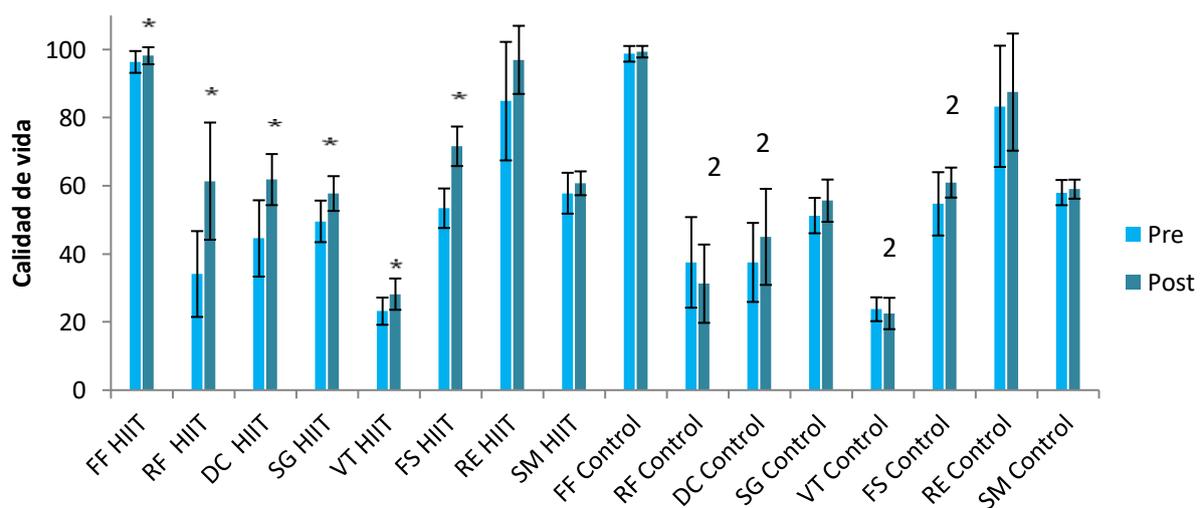
Valores Pre y Post Periodo de Intervención de las Dimensiones del SF-36 de Calidad de Vida

	HIIT (n=11)		Control (n=8)		D cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
Función física	96,3±3,2	98,1±2,5*	98,7±2,3	99,3±1,7	0,24
Rol físico	34,0±12,6	61,3±17,2*	37,5±13,3	31,2±11,5 ²	0,66
Dolor corporal	44,5±11,2	61,8±7,5*	37,5±11,6	45,0±14,1 ²	1,53
Salud general	49,5±6,1	57,7±5,1*	51,25±5,2	55,6±6,2	0,81
Vitalidad	23,1±4,0	28,1±4,6*	23,7±3,5	22,5±4,6 ²	0,24
Función Social	53,4±5,8	71,6±5,8*	54,6±9,3	60,9±4,4 ²	0,87
Rol emocional	84,8±17,4	96,9±10,0	83,3±17,8	87,5±17,2	0,19
Salud mental	57,8±6,0	60,7±3,5	58,0±3,7	59,0±2,8	0,24

Nota. Datos presentados en medias ± DT, n: número de sujetos; HIIT: experimental; Control: grupo control; *p<0,05 comparado con el valor pre del mismo grupo; ¹p<0,05 comparado con el valor pre del otro grupo; ²p<0,05 en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 29

Comparación de la Calidad de Vida en Base a los Resultados del SF-36 entre Grupos y Periodos de Valoración



Nota. *p<0,05 en comparación con el valor pre del mismo grupo; ²p<0,05 en comparación con el valor post del otro grupo.

La calidad con la que los participantes percibían su descanso nocturno mejoró un 21,4% en aquellos que hicieron HIIT ($p < 0,05$) mientras que mejoró un 7,2% en el grupo control ($p > 0,05$). Es necesario recordar que una menor puntuación en este test evidencia una mejor calidad del sueño.

Tabla 15

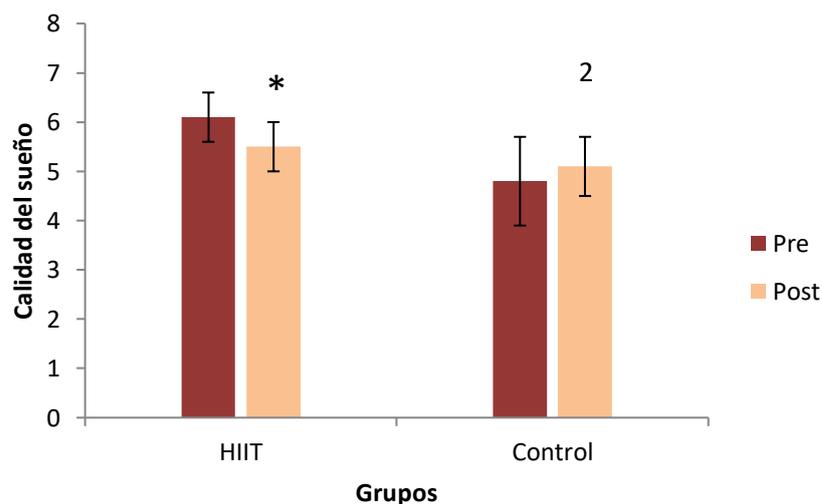
Valores Pre y Post Periodo de Intervención de las Dimensiones del PSQI de Calidad del Sueño

	HIIT (n=11)		Control (n=8)		D Cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
Calidad del sueño	6,1±0,5	4,8±0,5*	5,5±0,9	5,1±0,6 ²	0,54

Nota. Los datos se presentan en medias \pm desviación típica, n: número de sujetos; HIIT: grupo experimental; Control: grupo control; * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ¹ $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del otro grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 30

Comparación de la Calidad del Sueño en Base a los Resultados del PSQI entre Grupos y Periodos de Valoración



Nota. * $p < 0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ² $p < 0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

El disfrute con el ejercicio físico mejoró un 7% en el grupo que entrenó, lo que supone una diferencia significativa, mientras que para el grupo control únicamente mejoró en un 0,69% ($p>0,05$).

Tabla 16

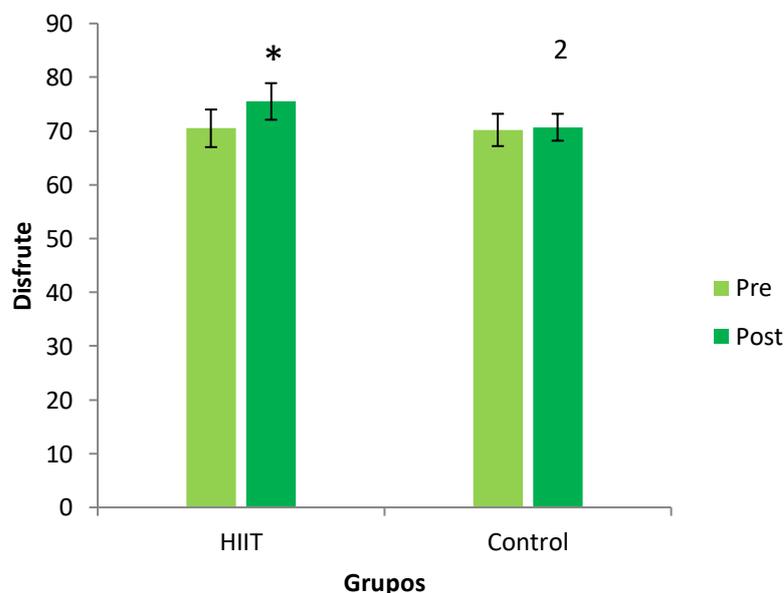
Valores Pre y Post Periodo de Intervención del PACES del Disfrute del Ejercicio Físico

	HIIT (n=11)		Control (n=8)		D cohen
	Pre	Post	Pre	Post	
Disfrute AF	70,5±3,5	75,5±3,4*	70,2±3,0	70,7±2,5 ²	0,94

Nota. Los datos se presentan en medias \pm desviación típica, n: número de sujetos; HIIT: grupo experimental; Control: grupo control; * $p<0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ¹ $p<0,05$ en comparación con el valor pre del otro grupo; ² $p<0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Figura 31

Comparación del Disfrute con el Ejercicio Físico en Base a los Resultados del PACES entre Grupos y Periodos de Valoración



Nota. * $p<0,05$ en comparación con el valor pre del mismo grupo; ² $p<0,05$ en comparación con el valor post del otro grupo.

Tolerancia al ejercicio

La intensidad y volumen del ejercicio físico fue la adecuada para un HIIT, ya que la media de percepción subjetiva del esfuerzo fue 7,86 sobre 10, lo que denota una intensidad “muy alta” en la escala de Borg modificada (Zamunér et al., 2011). A pesar del incremento en el volumen de entrenamiento, la percepción de esfuerzo tuvo ligeros descensos a medida que avanzaba la intervención, lo que implica una buena adaptación por parte de los participantes del grupo experimental al entrenamiento. Todas las sesiones pudieron ser completadas con éxito por los participantes.

Figura 32

Percepción Subjetiva del Esfuerzo de los Sujetos a lo largo de la Intervención

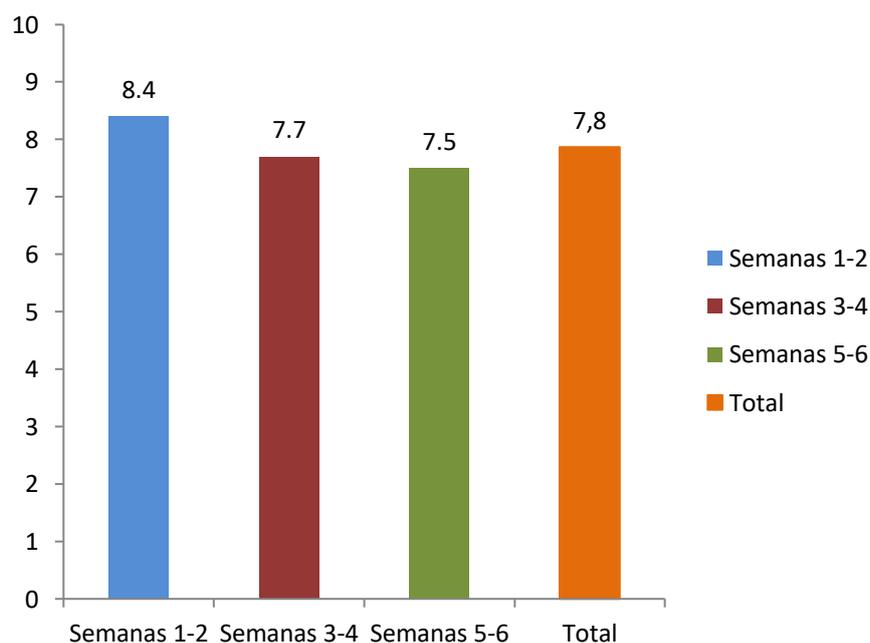
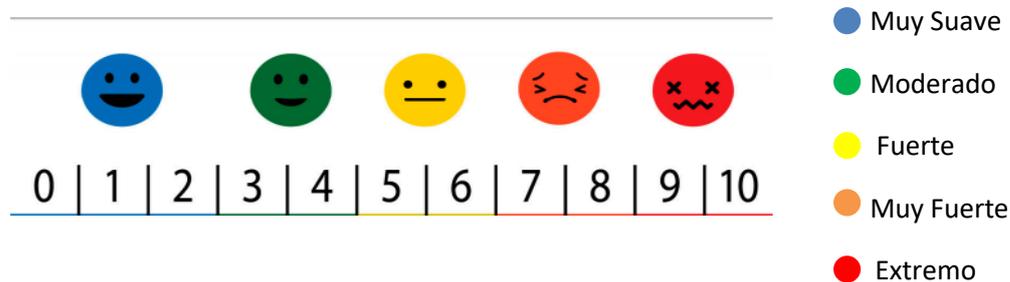


Figura 33

Escala Modificada de Borg de la Percepción Subjetiva del Esfuerzo



Nota. Modificado de Alsamir Tibana et al., 2019.

Eventos adversos

Tras la finalización del periodo de intervención, de los 198 entrenamientos realizados solo se dieron 3 hipoglucemias (1,5%) post-ejercicio físico muy leves ($69,7 \pm 2,6$ mg/dl), no habiendo ninguna hipoglucemia nocturna, ningún caso de hiperglucemia descontrolada, ni de cetoacidosis diabética post-ejercicio. Del mismo modo, no se produjo ningún episodio cardiovascular adverso ni lesiones musculoesqueléticas relacionadas con el entrenamiento realizado en la investigación. Por otra parte, el consumo de carbohidratos de rápida absorción fue necesario para prevenir hipoglucemia en 7 entrenamientos de los 198 totales (3,5%), mientras que en ningún caso, los participantes llegaron con hiperglucemia y/o cetosis, por lo que no hubo que hacer ajustes en ese aspecto.

Discusión

En el presente estudio se analizaron los efectos de un protocolo de HIIT de 6 semanas sobre diferentes variables relacionadas con el riesgo cardiovascular, la funcionalidad física y el bienestar psicológico de una muestra de personas con diabetes tipo 1.

Es necesario destacar que los estudios publicados con similitudes al expuesto aquí, en cuanto al tipo de entrenamiento (HIIT), el número de muestra (N~7-12) y la población (DT1), guardan diferencias metodológicas reseñables con el presente estudio en el volumen e intensidad del HIIT, duración de la intervención y/o ejercicio físico utilizado para el entrenamiento. Por ello, a la hora de comparar resultados, es importante tener en cuenta estos datos y que la metodología de entrenamiento utilizada en esta investigación (HIIT 1:2 durante 6 semanas utilizando cicloergómetro) es inédita hasta la fecha en la producción científica previa para población con diabetes tipo 1.

A continuación se presenta la argumentación de los resultados obtenidos tras el análisis de los datos del estudio realizado. La discusión se presenta diferenciada en los tres bloques en los que se dividieron las variables estudiadas.

Variables de riesgo cardiovascular

El primer objetivo de esta investigación fue analizar el efecto que tiene un protocolo HIIT sobre variables que influyen en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, las cuales son la primera causa de muerte prematura en la población de estudio: personas con DT1. Nuestras hipótesis al respecto eran que las cuatro variables de estudio asociadas al sistema cardiovascular se verían afectadas positivamente por la aplicación del entrenamiento por intervalos prescrito.

Consumo Máximo de Oxígeno

El consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx) mejoró significativamente ($p < 0,05$) en el grupo experimental de este estudio, lo cual coincide con los resultados de otras investigaciones en las que esta variable también mejoró aplicando HIIT en este tipo de población patológica. Sam Scott y sus colaboradores desarrollaron un estudio (Scott, Shepherd, Andrews, et al., 2019) con 11 personas (misma muestra que el grupo experimental de este estudio) con DT1 y físicamente inactivos, las cuales realizaron un programa de HIIT de 6 semanas de duración (3 entrenamientos por semana). El VO_2 máx mejoró en estas personas un 7% ($p < 0,05$), lo que se asemeja al 8,2% de mejora que se produjo en este estudio. El volumen total de entrenamiento a alta intensidad fue el mismo que en nuestra investigación (144 minutos), también con un incremento gradual cada dos semanas (6 series de 1 minuto, 8 series y finalmente 10 series de 1 minuto), pero los ejercicios físicos utilizados eran diferentes (*jumping jacks* y *burpees*) al cicloergómetro que usaron en este protocolo los participantes, aunque, al menos el burpee guarda cierta similitud con el cicloergómetro en cuanto a respuestas metabólicas y cardiovasculares (Gist et al., 2014). También hay diferencia en cuanto a la intensidad, ya que los investigadores mencionados acotaron la intensidad por encima del 80% de la FC máx en los periodos de alta intensidad mientras que en esta investigación se utilizó la PPO (85%) y el descanso era pasivo en su investigación mientras que en este estudio, el descanso era activo, al 40% de la PPO. También difiere el formato del HIIT, ya que el suyo fue un 1:1 (mismo trabajo que descanso) y el utilizado aquí, fue un 1:2 (doble descanso que trabajo). Si bien es cierto que dicho protocolo requirió más tiempo total de trabajo porque los intervalos de alta intensidad eran más cortos, lo que implica que con igualdad en tiempo total a alta intensidad, mayor cantidad de periodos de descanso.

En otro estudio del mismo grupo de investigación liderado por Sam Scott (Scott et al., 2018), en el que trabajan también con personas sedentarias con DT1, buscaron comparar el efecto de 6 semanas de HIIT (N=7) con ejercicio físico de moderada intensidad (N=7), ambos 3 veces por semana y también con un volumen total de 144 minutos, con incremento en el HIIT similar al mencionado en el estudio anterior (6 intervalos de alta intensidad las primeras dos semanas, 8 en las dos posteriores y 10 en las dos últimas). El protocolo era 1:1, mismo tiempo de esfuerzo que de descanso, el cual fue activo a 50W. En este estudio sí que trabajaron con cicloergómetro como en la presente investigación, pero los periodos de alta intensidad los llevaron al 100% del VO_2 máx, lo que hace esos intervalos más intensos que los que superaron los participantes de este estudio. Considerando que el dispositivo de medición del consumo de oxígeno utilizado en este estudio (MOXUS modular metabolic system,; AEI Technologies, Pittsburgh, PA) muestra una alta validez y fiabilidad (Rosdahl et al., 2013) del mismo modo que lo hace el dispositivo de medición PNOE (Tsekouras et al., 2019), la diferencia en la intensidad y el formato del protocolo son, probablemente, las causas de la mejora del 14% del grupo HIIT en el VO_2 máx, superior al 8,2% obtenido en nuestra investigación.

Por otra parte, el grupo de investigación de Juliano Farinha, desarrolló un estudio (Farinha et al., 2018) en el que, entre otras cosas, analizaron el cambio en el VO_2 máx en 9 personas con DT1 (físicamente inactivos) tras un periodo de HIIT de 10 semanas (3 entrenamientos por semana), haciendo 10 series de 1 minuto al 90% de la FC máx con descanso activo de 1 minuto (protocolo 1:1), todo realizado en cicloergómetro. La mejora en dicho parámetro fue del 19% aproximadamente, de nuevo, superior al 8,2% del presente estudio, lo cual es atribuible al mayor volumen total de trabajo de alta intensidad (300 minutos). El material de medición que utilizaron para el VO_2 máx (Quark, CPET, Cosmed,

Rome, Italy) fue de alta validez y fiabilidad (Nieman et al., 2013), por lo que el cambio en el VO_2 máx de nuevo podría relacionarse con las diferencias en la carga total de entrenamiento.

Otra investigación con características similares fue llevada a cabo por el grupo brasileño de Winston Boff. En este estudio (Boff et al., 2019), 9 personas sedentarias y con DT1, desarrollaron un programa de HIIT de 8 semanas en cicloergómetro. En este protocolo se iba incrementando el volumen y la intensidad de la carga progresivamente. En las semanas 1 y 2, se completaban 20 minutos al 50% FCmáx, en las semanas 3 y 4, los participantes completaban 4 intervalos de 1 minuto al 80% FCmáx intercalados por 5 minutos al 50% FCmáx tras un calentamiento de 5 minutos a esa misma intensidad. Las últimas cuatro semanas realizaban tras ese calentamiento, 6 series de 1 minuto al 85% FCmáx, intercalado con periodos de 4 minutos al 50% FCmáx. La mejora del VO_2 máx, medida también con el dispositivo Cosmed, fue de casi el 18% en este estudio, una mejora similar a lo estudios mencionados anteriormente y que, de la misma manera, se debe a cargas de entrenamiento similares.

En esta línea, las investigaciones más recientes que analizan el efecto del HIIT en personas con DT1, muestran resultados dispares en el análisis del VO_2 máx. El grupo de investigación australiano liderado por Angela Lee, en un estudio (A. Lee et al., 2020) realizado con 12 personas con DT1 previamente sedentarias y con sobrepeso, no obtuvieron cambios significativos en el VO_2 máx tras aplicar un protocolo de 12 semanas de entrenamiento (3 sesiones por semana). Cada sesión consistía en 4x4 minutos al 85-95% de la FCmáx, intercalados con descansos de 3 minutos al 70% FCmáx. Es un resultado llamativo, ya que teniendo en cuenta el nivel inicial de los participantes y el volumen e intensidad de los entrenamientos, lo esperable sería una mejora del VO_2 máx. Es probable que esto se

deba a que parte de los entrenamientos no eran supervisados, lo que puede causar que no se cumplan por parte de los sujetos todos los objetivos del entrenamiento prescrito por los investigadores. No se encontraron estudios que analizaran la validez y/o fiabilidad del dispositivo utilizado en el análisis (Ultima PFX pulmonary function/stress testing system; MGC Diagnostics). Otro grupo de investigación alemán, ha realizado también dos estudios utilizando HIIT en personas con DT1. En ambos estudios (Minnebeck et al., 2020; Zinn et al., 2020) la mitad de los participantes tenían sobrepeso y la otra mitad no, aunque debido a muertes experimentales y pequeños cambios en la muestra el análisis del total de sujetos fue diferente (22 y 20 sujetos respectivamente). Los investigadores aplicaron un protocolo de 4 semanas (2 sesiones por semana), en el que cada entrenamiento consistía en 4x1 minuto a intensidad *“all out”*, intercalado de 1 minuto de descanso pasivo, las dos primeras semanas, subiendo a 6 series de trabajo las dos últimas semanas. En dichos estudios analizaron variables diferentes. La mejora en fitness cardiorrespiratorio la asociaron al incremento en la PPO (7,5% aproximadamente en ambos estudios). Aunque no mostraron datos de $VO_2\text{max}$ directamente, los resultados de la potencia sugieren mejoras en la condición física aeróbica, lo cual va en línea con los resultados obtenidos en este trabajo.

Los mecanismos subyacentes a este desarrollo del $VO_2\text{máx}$ no fueron analizados en los estudios mencionados, sin embargo, los procesos biomoleculares por los que el HIIT genera una mejora en esta capacidad física han sido asociados anteriormente al desarrollo de la expresión mitocondrial y a la mejora en la funcionalidad vascular (Gibala et al., 2014; Ito, 2019), los cuales, pueden estar detrás de los resultados obtenidos en nuestra investigación.

Esto indica que el HIIT es una herramienta de entrenamiento eficaz para mejora del consumo máximo de oxígeno, un factor fundamental en la prevención de accidentes

cardiovasculares en los seres humanos en general (Ito, 2019) y en poblaciones de riesgo como las personas con DT1 en particular (Loprinzi & Pariser, 2013; Rissanen et al., 2015). Corroborándose en el presente estudio.

Composición Corporal

La composición corporal es un problema incipiente en la población con DT1, ya que están aumentando los casos de sobrepeso y obesidad en estas personas, lo cual se relaciona con problemas cardiovasculares (Corbin et al., 2018). En el presente trabajo de investigación se alcanzó un aumento del 3,3% en la masa libre de grasa, lo que va en consonancia con el 3,4% obtenido en un estudio mencionado anteriormente (Farinha et al., 2018), y una reducción del 6,5% de la masa grasa, lejos del 0,8% que se vio en dicho estudio, a pesar de su mayor volumen de entrenamiento total. Esto es posible que se deba a diferencias en los hábitos nutricionales y al nivel inicial de grasa corporal de los participantes. El método de medición fue el de cinco componentes, siguiendo las directrices de la Sociedad Internacional de Cineantropometría avanzada, el cual, del mismo modo que el protocolo de medición con la Tanita MC780MA, tiene alta validez y fiabilidad (Verney et al., 2015). Los mecanismos que se asociaron al cambio en la composición corporal se relacionaron con la reducción en la producción de productos finales de glicación avanzada, relacionados con procesos inflamatorios y oxidativos, los cuales podrían atribuirse también a los resultados de la presente investigación.

Los estudios mencionados anteriormente del grupo de Sam Scott (Scott et al., 2018; Scott, Shepherd, Andrews, et al., 2019), muy similares metodológicamente al desarrollado en esta tesis, no controlaron la composición corporal en los estudios, limitándose al análisis del peso y del índice de masa corporal, variables no significativas en la medición de la

composición corporal (Madden & Smith, 2016) y que no se modificaron significativamente con el entrenamiento. Del mismo modo, en el estudio mencionado de Boff y colaboradores, no controlaron la composición corporal de los sujetos, mostrando los resultados del cambio en el peso y el IMC (Boff et al., 2019), mostrándose una reducción del peso de los participantes del 4%.

En las investigaciones publicadas recientemente (A. Lee et al., 2020; Minnebeck et al., 2020; Zinn et al., 2020), mencionadas en el apartado anterior, se analizó el efecto del HIIT en personas con sobrepeso y DT1. En el análisis de la composición corporal en el estudio del grupo australiano, no se mostraron cambios en la composición corporal de los participantes, analizado con densitometría, DXA (Hologic, Bedford, MA). Del mismo modo, en los estudios del grupo alemán, tampoco mostraron diferencias significativas en la composición corporal (ni en la masa grasa ni en la masa libre de grasa) obteniendo los datos con bioimpedancia eléctrica (InBody 770, InBody, Cerritos, CA). Estos resultados difieren de los obtenidos en la presente investigación. Los autores de los estudios no expresaron sus hipótesis acerca del por qué de estos resultados, a pesar de ser interesantes, ya que era de esperar que en población sedentaria se modificara la composición corporal tras un programa de entrenamiento. Es posible que estos resultados se deban a programas de entrenamientos poco eficaces en este sentido (bajo volumen de trabajo o entrenamientos no supervisados), a un control de la dieta inadecuado o a las propias características de los sujetos (sobrepeso).

Es destacable que a pesar del alarmante incremento del sobrepeso y la obesidad entre la población con DT1, en Ciencias del Deporte, no se le está dando la importancia que requiere, ya que falta evidencia en relación al ejercicio físico (en todas sus formas) y

composición corporal en personas con DT1. Por ello es importante incrementar la investigación del efecto de diferentes tipos de ejercicio físico sobre esta variable en personas con DT1.

La aportación de este estudio en ese sentido es que el HIIT, aparte de ser seguro con respecto al desarrollo de hipoglucemias, tiene tendencia a mejorar la composición corporal de las personas con DT1 que lo practican. La reducción de la masa grasa y el aumento en la masa libre de grasa mostrada en este estudio indica que el HIIT puede ser una herramienta útil también en la prevención del sobrepeso y la obesidad en personas con DT1, un problema creciente y que se relaciona con accidentes cardiovasculares (Corbin et al., 2018).

El HIIT ya ha demostrado ampliamente que mejora la composición corporal en personas sin patologías (Maillard et al., 2018) y en personas con diabetes tipo 2 (Wormgoor et al., 2017), pero la diabetes tipo 1, por su fisiopatología, podría requerir adaptaciones en los métodos de entrenamiento para alcanzar dichas mejoras, por ello la investigación en personas con DT1 debe desarrollarse. Del mismo modo, el HIIT mejora la composición corporal de personas que ya tienen obesidad y sobrepeso y que no tienen comorbilidades (Wewege et al., 2017), lo que indica que es necesaria más investigación que contraste los resultados obtenidos en los primeros estudios en los que se ha aplicado HIIT a personas con DT1 y sobrepeso, los cuales han sido mencionados anteriormente.

Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

Los resultados obtenidos tras el estudio de las variables cardíacas (rMSSD y ratio LF/HF) en nuestra investigación, indican que los participantes modificaron su modulación nerviosa del tejido cardíaco aumentando la activación parasimpática, la cual previene accidentes cardiovasculares. Según una investigación previa (Kubota et al., 2017), las personas con más de, aproximadamente, 30 ms en rMSSD tienen un menor riesgo cardiovascular entre los 45 y los 85 años que las personas por debajo de ese valor, y cuanto más alto, menor riesgo (siempre dentro de un intervalo). Del mismo modo, en dicho estudio se muestra que el ratio LF/HF es inversamente proporcional al riesgo cardiovascular en el mencionado rango de edad. Según esos datos, los presentes resultados indicarían que las personas que han entrenado han reducido, aunque modestamente, su riesgo cardiovascular. Estos resultados, no pueden ser comparados con otras investigaciones en las que se trabaje con personas DT1 y HIIT, ya que, por lo estudiado, es la primera que analiza estas variables en un estudio de dichas características.

No obstante, existen publicaciones científicas que guardan ciertas características metodológicas comunes con nuestra investigación y que pueden ayudar a comprender mejor los resultados obtenidos, siempre con la prudencia debida, al no ser poblaciones y protocolos de HIIT iguales que los utilizados en la presente investigación.

Un grupo de investigadores de diferentes universidades de Estados Unidos, en un estudio (Alansare et al., 2018), analizaron el efecto que tenía un protocolo de HIIT en la variabilidad de la frecuencia cardíaca de personas inactivas (N=7) pero sin patologías. El protocolo que utilizaron consistía en 8 sesiones distribuidas a lo largo de dos semanas (4 sesiones por semana). Cada sesión, desarrollada en cicloergómetro, se formaba por 20

series de 10 segundos a más de 100rpm y 50 segundos de recuperación activa a 50rpm. Este protocolo difiere del utilizado en esta investigación tanto en volumen como en intensidad de los intervalos de trabajo. La medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca la realizaron a primera hora de la mañana, en una sala tranquila con humedad y temperatura controladas y sin previo consumo de cafeína, al igual que se hizo en nuestra medición. Sin embargo, en su estudio, Alansare y sus colaboradores, registraron la variabilidad de la frecuencia cardíaca con un electromiógrafo a diferencia del software *Elite HRV* utilizado en este trabajo y el sujeto permaneció sentado durante el registro, en lugar de tumbado supino como se hizo en este estudio. Del mismo modo el software utilizado en el análisis de datos fue diferente, en el mencionado estudio usaron ActiveWave Cardio analysis (versión 3.0.8, CamNtech, Cambridge, UK). El tiempo de valoración fue el mismo entre ambos estudios, ya que en los dos protocolos se desestimaron los primeros minutos (previa estabilización de la señal) y se registraron los 5 minutos posteriores para el análisis de datos.

Las variables analizadas en esta investigación fueron rMSSD y el ratio LF/HF, las cuales se asocian con la actividad parasimpática y la relación simpática-parasimpática respectivamente. Dichas variables, entre otras, fueron analizadas en la investigación descrita. Los resultados obtenidos en el ratio LF/HF siguen la línea de los obtenidos en el presente trabajo, ya que, con diferencia estadística ($p < 0,05$), se redujo de 1,15 a 1,05, mientras que en este estudio, la diferencia fue mayor: pasando de 2,6 a 1,5 (42,3% menos) en esa relación de alta frecuencia (HF) con baja frecuencia (LF) (O'Driscoll et al., 2018) y que implica que el sistema nervioso simpático predomina menos sobre el parasimpático en situación de reposo, lo que reduce el riesgo de accidente cardiovascular (Taralov et al., 2015). Por otra parte, la variable rMSSD, relacionada con la activación parasimpática del

corazón (McCarty & Shaffer, 2015), no cambió significativamente ($p>0,05$) a diferencia de este estudio, en el que el resultado fue el aumento de un 17,2% ($p<0,05$), lo que implica la reducción del riesgo de sufrir accidentes cardiovasculares (Jarczok et al., 2019).

Otro estudio que también analiza el comportamiento nervioso del corazón tras un periodo de entrenamiento HIIT en personas inactivas pero sin comorbilidades, determinó nuevamente que se producía una reducción en el ratio LF/HF. Este estudio, llevado a cabo por un grupo de investigación finlandés (Antti M. Kiviniemi et al., 2014a), consistió en 6 sesiones de HIIT (en dos semanas) en cicloergómetro, con 4-6 repeticiones de 30 segundos a intensidad máxima (all-out) y 4 minutos entre repeticiones de descanso activo sin carga o pasivo (era opcional). El resultado fue una reducción significativa estadísticamente ($p<0,05$) de 1,8 a 1,6, el cual se midió con un electrocardiógrafo (ECG) portátil durante 24 horas. Esto sigue la línea de los resultados obtenidos en este proceso de investigación, aunque en menor medida, quizás debido al menor volumen de entrenamiento y/o a las diferencias metodológicas del HIIT.

El mismo grupo de investigación, siguiendo exactamente la misma metodología que en su anterior estudio, determinó que los participantes (sedentarios y sanos) con un ratio LF/HF mayor antes de la intervención (predominancia simpática) tenían peores resultados en condición física cardiorrespiratoria (VO_2 máx), y posteriormente los que más mejoraron en ambos parámetros, lo que apoya la hipótesis de que el HIIT es una herramienta útil para mejorar factores que previenen accidentes cardiovasculares (A. M. Kiviniemi et al., 2015). Esta correlación entre una mayor activación parasimpática con un mayor VO_2 máx, también se observó en estudios anteriores con protocolos de entrenamiento más amplios, con poblaciones sanas e inactivas y con HIIT diferentes (20 minutos alternando 8 segundos “all

out” con 12 segundos de descanso) y con medición corta (15 minutos) de la VFC, similar a la que se llevó a cabo en este estudio pero con un software diferente (Polar Precision Performance™ SW 4.03, Finland) (Boutcher et al., 2013).

Por otra parte, en una revisión sistemática (Abreu et al., 2018), se analizó el efecto del HIIT sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca en personas sanas y con patologías (síndrome metabólico, enfermedad coronaria y fallo cardíaco). Los resultados que consiguieron siguen la línea de los estudios mencionados anteriormente y de los que se obtuvieron en el presente estudio: aumento en la modulación parasimpática del corazón y en consecuencia reducción del riesgo de accidente cardiovascular, en el caso de algunas de las poblaciones con patología cardíaca analizadas en dicha revisión, de recidiva. Los protocolos de HIIT variaban desde 2-24 semanas de duración con 3 sesiones por semana y se llevaban a cabo tanto en cicloergómetro como en cinta. Los periodos de alta intensidad variaban desde 8 segundos hasta 4 minutos y los descansos variaban también entre 12 segundos y 4 minutos, siendo activos y pasivos. La intensidad se midió en % de PPO, VO_2 máx y FC máx, manteniéndose en esos periodos de alta intensidad entre el 80-100% de dichas magnitudes. La metodología de medición de la VFC era diferente entre las investigaciones: la duración estuvo entre 5 minutos y 24 horas de registro y los materiales utilizados fueron generalmente electromiógrafos como Polar RS800CX Heart Rate Monitor (Polar Electro Oy; Kempele, Finland) y SphygmoCor CVMS (AtCor medical, Sydney, Australia). Esto indica que a pesar de la gran variabilidad en protocolos de HIIT, con todos se consigue una mejora en VFC tanto en poblaciones sanas como patológicas a nivel crónico, lo cual refuerza los resultados obtenidos en la presente investigación.

Los mecanismos relacionados con la mejora en la VFC a través del ejercicio es un campo que permanece en estudio actualmente. A pesar de ello, la causa más mencionada en la literatura se asocia a la mejora en la funcionalidad del reflejo barorreceptor y en consecuencia la mejora en la modulación parasimpática (Abreu et al., 2018; Alansare et al., 2018; Antti M. Kiviniemi et al., 2014b; McCraty & Shaffer, 2015).

A pesar de que los resultados en las dos variables (rMSSD y LF/HF) son muy interesantes, es destacable el cambio producido en el ratio LF/HF y que determina la relación entre la activación simpática y parasimpática como ya se ha mencionado anteriormente. La diferencia entre los resultados de este análisis y los de los demás estudios, podría atribuirse a dos factores: en primer lugar, a la condición física inicial de los participantes y en segundo lugar, a la mayor activación simpática que tienen las personas con DT1, por el deterioro que el estado continuado de hiperglucemia genera en el sistema cardiocirculatorio. Ambos aspectos, permiten un margen de mejora más amplio que en otras poblaciones. El protocolo HIIT utilizado permite que los participantes lo completen de manera eficaz y segura, ayudando a que los participantes mantengan la adherencia y mejoren significativamente. Por ello, se postula como una estrategia interesante para que este tipo de población se inicie en el ejercicio físico.

Glucemia en Ayunas

La glucemia en ayunas, la cual registraron los participantes durante 4 semanas, con sus glucómetros habituales y en las mismas condiciones cada día, se redujo de manera significativa ($p < 0,05$) en el grupo experimental tras el periodo de entrenamiento y no experimentó cambios ($p > 0,05$) en el grupo control.

En la investigación, anteriormente descrita, del grupo de investigación de Juliano Farinha (Farinha et al., 2018), observaron una reducción de la glucemia en ayunas del 7,5% ($p < 0,05$). Dato similar al obtenido en la presente investigación, el cual fue un 7,8%. Es interesante destacar que a pesar de la similitud en los resultados obtenidos, este protocolo de investigación era 4 semanas más corto, y menos intenso (tipo 1:2) para la población del estudio (personas sedentarias con DT1). Por otra parte, la metodología de obtención de datos también fue diferente, ya que los participantes del presente estudio registraron la glucemia en ayunas con sus propios dispositivos de medición de glucosa durante 4 semanas consecutivas (28 registros). En cambio, en este estudio del grupo de investigación brasileño, obtuvieron mediante procesos químicos el dato de cada participante del nivel de glucemia con el que hicieron el análisis estadístico.

Los mecanismos por los que esta reducción en la glucemia en ayunas se producía no fueron analizados en este artículo, aunque una revisión del mismo grupo científico (Farinha et al., 2017) sugirió que a raíz del HIIT, la glucemia se estabilizaba en rangos normales debido al aumento en la concentración de hormonas contrarreguladoras y lactato, lo que limita el consumo de glucosa mediado por la insulina y estimula el lanzamiento de glucosa a la sangre por el hígado. Sin embargo, esto explicaría la reducción en la aparición de eventos hipoglucémicos, pero no la reducción de la glucemia en ayunas, lo cual estaría más relacionado con la mejora en la sensibilidad a la insulina por parte del músculo esquelético y del hígado debido a la generación de transportadores GLUT-4 y mitocondrias causado por el entrenamiento. Al producirse esta mejora en la entrada de glucosa en los músculos (para generar energía) y el hígado (para almacenarla), las concentraciones de glucosa en sangre se

reducen (Cassidy et al., 2017). Esto es, posiblemente, lo que ocurriese en el organismo de los participantes de este estudio para la consecución de la reducción de glucemia en ayunas.

Por su parte, en el estudio de Boff y colaboradores, anteriormente descrito, a través de un análisis bioquímico, determinaron una reducción de la glucemia en ayunas después de las 8 semanas del 0,8% ($p>0,05$). Este resultado no fue discutido por los autores, por lo que no expresaron ninguna explicación por la que su protocolo no tuvo efectos significativos en la glucemia en ayunas.

El grupo de investigación de Sam Scott, en dos de sus investigaciones (Scott et al., 2018; Scott, Shepherd, Andrews, et al., 2019) analizaron el comportamiento de la glucemia al aplicar un protocolo de HIIT en los participantes. Los resultados determinaron que la media en la concentración de glucosa en sangre durante 7 días no se modificó significativamente y que el tiempo que la glucemia permanecía en rangos óptimos aumentaba aunque no era de manera significativa. Los resultados aquí expuestos no acompañan los mostrados por estas investigaciones, probablemente debido a la diferencia en los protocolos y a la alimentación de los participantes, lo cual determina totalmente la regulación de la glucemia.

Por otra parte, los efectos del HIIT sobre la glucemia en ayunas han sido más ampliamente estudiados en personas con diabetes tipo 2. En una revisión que analizaba el efecto del HIIT sobre diferentes parámetros (entre ellos la glucosa en ayunas) en personas, entre otras, con diabetes tipo 2 en 50 investigaciones publicadas (Jelleyman et al., 2015), observaron que en estas investigaciones obtuvieron una reducción media de glucosa en ayunas de 16,5 mg/dl, superior a los presentes resultados (reducción de 11 mg/dl aproximadamente). Las características de los protocolos de HIIT de las investigaciones

incluidas en dicha revisión eran muy dispares. La duración total estuvo entre 2-48 semanas de duración con 3-5 sesiones por semana. Los periodos de alta intensidad variaban desde 6 segundos hasta 5 minutos de duración, estando la intensidad entre el 80% e intensidad “all-out” de PPO, VO_2 máx y FCmáx. Los descansos variaban también entre 8 segundos y 5 minutos, siendo activos y pasivos. Los ejercicios se desarrollaron tanto en cinta como en cicloergómetro. En los métodos de medición de la glucemia predominó el análisis químico de muestras de sangre de los participantes.

De esta información, se puede extraer que los resultados obtenidos siguen la línea de otras investigaciones con población con DT1 y con patologías que alteran la regulación de la glucemia (síndrome metabólico y diabetes tipo 2), ya que se produce una reducción de la glucemia en ayunas de manera significativa ($p < 0,05$), lo que deriva en reducción del riesgo de sufrir accidentes cardiocirculatorios (Moradi-Lakeh et al., 2017). Aunque también existen otros trabajos en los que no se observaron resultados que siguieron esta línea. Es importante tener en cuenta que este tipo de análisis son fundamentalmente realizados con bioquímica. En la presente investigación no se llevó a cabo este procedimiento por dos motivos: por facilitar a los participantes el análisis y por la complejidad en el ajuste entre más asistencias al laboratorio de los participantes y la disponibilidad de personal facultativo para el desarrollo de dichas pruebas.

Variables funcionales

El segundo objetivo de esta investigación fue conocer el efecto que tiene el protocolo HIIT aplicado sobre variables que afectan a la funcionalidad física de las personas con DT1, las cuales pueden ocasionar, en última instancia, dependencia y/o discapacidad física.

Nuestras hipótesis al respecto eran que las tres variables de estudio asociadas a la funcionalidad física de los participantes mejorarían tras el periodo de intervención.

Fuerza en Miembros Inferiores

Debido a que hasta la fecha existen pocas investigaciones que analicen la fuerza en miembros inferiores en personas con DT1 tras realizar un protocolo de HIIT, el estudio de los resultados en relación a lo publicado anteriormente se ha relacionado también con trabajos de investigación previos que utilizan metodologías similares y poblaciones que en algunos aspectos pueden ser similares a las personas con DT1.

La pérdida de funcionalidad muscular en personas con DT1 es, en muchos aspectos, similar a la ocurrida en la musculatura de personas mayores, pero desarrollada en personas mucho más jóvenes (Monaco et al., 2019). Los datos que se obtuvieron están de acuerdo con investigaciones previas que muestran efectos beneficiosos de aplicar HIIT en personas mayores.

Diferentes estudios de Peter Herbert y sus colaboradores de diferentes universidades de Reino Unido y Australia investigaron el efecto del HIIT desarrollado en cicloergómetro, como se realizó en este estudio, en la potencia muscular en personas mayores sedentarias y activas. Teniendo en cuenta dicha similitud entre la funcionalidad muscular de personas mayores y con DT1, los resultados de dichas investigaciones van en línea con los analizados en este trabajo, ya que ellos observaron que un HIIT de 6 series de 30 segundos al 90% de la frecuencia cardíaca de reserva intercalado con 3 minutos de recuperación activa, realizado cada cinco días durante 6 semanas, produce un incremento del 8% en la PPO relativa (determinada con un test incremental) (Herbert et al., 2017).

Otro estudio de características similares del mismo grupo de investigación, analizó el efecto del protocolo de HIIT antes mencionado sobre la fuerza muscular en las piernas de personas mayores sedentarias, resultando en un incremento del 17% aproximadamente de PPO (determinada con un test incremental) (Sculthorpe et al., 2017). Antes del protocolo de HIIT, todos los participantes realizaban 6 semanas de pre-acondicionamiento físico que les preparase para afrontar el HIIT.

En cambio, en otro estudio en el que analizaron el efecto del HIIT desarrollado en cicloergómetro en personas mayores (Bruseghini et al., 2019), no se produjeron mejoras en la fuerza de los miembros inferiores de los sujetos, determinado con un dinamómetro isoinercial (CMSi Cybex Humac Norm Dynamometer, Stoughton, MA, United States). El protocolo consistía en 24 sesiones repartidas en 8 semanas en las que desarrollaban 7 series de 2 minutos al 85-95% VO_2 máx, separadas por descansos activos de 2 minutos al 40% VO_2 máx. Por tanto, los resultados de este estudio no estarían en relación con los mencionados anteriormente ni con los propuestos en la presente investigación. La diferencia, probablemente se deba a que los participantes eran personas físicamente activas, a diferencia de los de las anteriores investigaciones mencionadas y a los sujetos del presente estudio.

Por otra parte, en revisiones que analizaban efectos del HIIT en diferentes poblaciones (problemas mentales y cardiometabólicos) (Martland et al., 2019; Weston et al., 2014), observaron que el HIIT causaba aumentos de masa muscular y fuerza en personas de estas características. A pesar de que los resultados sugieren una tendencia similar a la nuestra en la mejora de la fuerza tras realizar HIIT, estos resultados deben ser tratados con cautela, ya que la alta variabilidad en los protocolos, en los materiales utilizados y en las

poblaciones que participaban en los estudios hacen que las similitudes metodológicas con este estudio sean limitadas. En contraposición, un estudio que analizó el efecto de 6 sesiones HIIT consistentes en 4 *Wingates*, lo cual se basa en 30 segundos “*all out*” seguido de 5 minutos de recuperación activa en cicloergómetro, no encontraron diferencias en la fuerza generada por los extensores de rodilla determinado por una máquina isocinética (Biodex System 3, Shirley, NY, USA). Esto podría deberse a que la población de dicho estudio era sana y el estímulo no fuera suficiente (Astorino et al., 2012).

En relación a las investigaciones que trabajaron con personas con DT1, en uno de los estudios recientes de aplicación de HIIT a personas con esta enfermedad, anteriormente descrito (A. Lee et al., 2020), analizaron la fuerza muscular de las piernas tras el HIIT con un test de 1RM en una máquina de prensa de piernas (Keiser, Fresno, CA). Mostraron una mejora del 22,04% ($p < 0,05$), lo cual sigue la línea de los resultados recabados en esta tesis. Del mismo modo, en el estudio de Farinha y colaboradores de 2018, también mencionado anteriormente, utilizando el mismo sistema de medición de la fuerza, obtuvieron un aumento del 19,1% que no resultó estadísticamente significativo. Es necesario considerar que, a pesar de la congruencia en los resultados (aumento de la fuerza), estos estudios se basaron en el incremento de la capacidad de generar fuerza con test de 1RM, es decir, en mover más masa (medido en Newtons), mientras que el presente protocolo se basó en el aumento de la velocidad de ejecución ante una misma carga (determinado por m/s).

Para el conocimiento de la literatura científica referente a este tema de los investigadores, este es el primer estudio que investiga el impacto del HIIT en la fuerza muscular de los miembros inferiores en personas con DT1 en relación a la funcionalidad física. Los participantes de este estudio mejoraron la velocidad de ejecución de sentadilla un

10,1%, 9,5% y 10,1% ($p < 0,05$) con el 50%, 60% y 70% de su masa corporal respectivamente. El movimiento de sentadilla representa una capacidad funcional fundamental en las actividades diarias como sentarse y levantarse de una silla (Myer et al., 2014) y los resultados muestran que las personas con DT1 mejoraron la velocidad en la ejecución de dicho movimiento mediante un protocolo 1:2 de HIIT de 6 semanas de duración y desarrollado en cicloergómetro, esto indica que al desplazar la misma carga (en la misma distancia), estas personas fueron capaces de alcanzar una mayor velocidad, lo que indica una mayor aceleración y en consecuencia, según la segunda ley de Newton, mayor fuerza en dicho movimiento (Frost et al., 2010; Waddell et al., 2016). Esto resulta interesante, dada la mayor pérdida de fuerza y funcionalidad muscular que las personas con DT1 experimentan en relación a personas sanas de sus mismas características, como ha sido mencionado anteriormente.

Los mecanismos mencionados para la mejora de la fuerza tras la aplicación de los programas de entrenamiento tipo HIIT en los trabajos que seleccionaron a personas con DT1 solamente hacen referencia a adaptaciones periféricas, pero no indagan en dichas adaptaciones. Nuestra hipótesis es que los participantes de nuestra investigación mejoraron la fuerza, mayoritariamente, mediante procesos de adaptación neural (reclutamiento fibrilar y coactivación muscular), que son aquellos que se generan primero en la mejora de la fuerza (Gabriel et al., 2006).

Equilibrio Dinámico

Los resultados de nuestra investigación también han proporcionado evidencia de que un protocolo HIIT desarrollado en cicloergómetro es una estrategia de entrenamiento efectiva para mejorar el equilibrio dinámico en una población con DT1 y testeado con YBT.

Un rendimiento bajo en esta prueba está asociado a restricciones motoras (Hoch et al., 2011) y una reducida funcionalidad para llevar a cabo las tareas diarias (Camargo et al., 2015; Linda J D'Silva et al., 2016; Shimada et al., 2003; Teyhen et al., 2014). Los datos obtenidos con YBT revelan una mejora significativa en esta prueba tanto en la pierna derecha (A: 4,3%; PL: 3,5%) como en la pierna izquierda (A: 6,1%; PL: 4,6%) ($p < 0,05$). La dirección PM solo mejoró ($p < 0,05$) en la pierna izquierda (5,3%). Esto muestra importantes cambios en ambas piernas en las direcciones A y PL. El rendimiento en las direcciones A y PL del YBT está altamente correlacionado con el rango de movimiento en la dorsiflexión de tobillo (Chimera & Larson, 2020; Hoch et al., 2011; Kang et al., 2015; Suryavanshi et al., 2015), lo que va en línea con los resultados obtenidos en el WBLT, en el cual la dorsiflexión de tobillo fue significativamente mejorada ($p < 0,05$), y de manera más pronunciada en la extremidad izquierda, lo que ocurrió también en el YBT.

La razón principal que se sospecha que está detrás de la mejora del equilibrio dinámico, es el aumento en la dorsiflexión de tobillo de los participantes. La mejora en el rendimiento en el WBLT podría estar detrás de las mejoras mencionadas en el YBT.

En investigaciones previas que utilizaron Y-test para determinar el equilibrio dinámico, no mostraron diferencias entre piernas dominantes y no dominantes, (Bressel et al., 2007; Fusco et al., 2020; Gribble & Hertel, 2003), como sí ocurrió en el presente estudio, ya que el rendimiento fue mayor en la pierna izquierda, mayoritariamente la no dominante, que en la derecha (dominante) en las direcciones A y PL. En esta línea, estudios previos indicaron que la extremidad no dominante es la que proporciona estabilidad y equilibrio en las actividades de la vida diaria (Clifford & Holder-Powell, 2010; Rabin et al., 2015) y de la misma manera, la fuerza generada por la extremidad no dominante se relaciona con el

control postural (Sadeghi et al., 2000). Sin embargo, los participantes de dichas investigaciones eran personas sanas, es posible que la DT1 influya en que haya diferencias en la mejora del equilibrio dinámico entre extremidades en función de su dominancia. Son necesarios más estudios.

Del mismo modo que ocurre con los resultados en dorsiflexión de tobillo, lo observado en el cambio del equilibrio dinámico de los participantes no puede ser contrastado con publicaciones anteriores que utilicen el HIIT como método de mejora de ésta capacidad funcional.

Dorsiflexión de Tobillo

En el presente estudio, se encontró que un protocolo HIIT desarrollado desde 12 a 20 intervalos de 30 segundos de alta intensidad al 85% de la PPO y con intervalos de descanso de 1 minuto al 40% PPO durante 18 sesiones distribuidas en 6 semanas, fue suficiente para mejorar la dorsiflexión de tobillo en la pierna derecha (11,3%) y en la pierna izquierda (15,5%), ambos de manera significativa ($p < 0,05$) en personas con DT1, a diferencia del grupo control, que no experimentó cambios. Estos resultados, corroboran los obtenidos en estudios previamente publicados que observaron que el tobillo adopta una posición más flexionada hacia su zona dorsal con un incremento de la intensidad de pedaleo en cicloergómetro (Bini & Diefenthaler, 2010; Holliday et al., 2019). En la literatura científica actual, hasta donde se conoce, no existen publicaciones que analicen la dorsiflexión de tobillo después de un periodo de entrenamiento HIIT, en ningún tipo de población. Por tanto, estos datos no pueden ser comparados con resultados de estudios anteriores con metodologías similares.

La mejora en el rango de movimiento del tobillo tras HIIT es interesante ya que una apropiada dorsiflexión de tobillo es crucial para permitir una correcta funcionalidad física en actividades de la vida diaria (Medeiros & Martini, 2018; Searle et al., 2017) y un factor fundamental en la rehabilitación de la marcha (particularmente en adultos mayores y personas con determinadas patologías) (Embrey et al., 2010). Del mismo modo, un correcto rango de movimiento en la articulación del tobillo previene la aparición de úlceras en los pies en personas con DT1, consecuencia de la rigidez en la movilidad del tobillo (Rao et al., 2006).

Una posible explicación para la mejora funcional en este aspecto podría ser, en primer lugar, que la posición de dorsiflexión de tobillo durante el pedaleo y el tiempo total que estuvieron haciéndolo, sean estímulos suficientes para mejorar la flexibilidad de los músculos implicados en este movimiento en personas con rangos reducidos. Y segundo, la reducción de productos finales de glicación avanzada que mejoran la funcionalidad de la articulación (Abate et al., 2013).

Por ello, se podría considerar que el HIIT desarrollado en cicloergómetro puede ser beneficioso y una herramienta interesante para mantener o mejorar la funcionalidad física de personas con DT1, previamente inactivas y del mismo modo prevenir úlceras en los pies y otras lesiones relacionadas con la rigidez articular del tobillo como la fascitis plantar, esguince de tobillo y/o tendinopatía rotuliana.

Variables Psicológicas

El tercer objetivo del presente estudio fue conocer qué efectos tiene el HIIT sobre determinadas variables asociadas al bienestar psicológico y a la adherencia al ejercicio físico tipo HIIT. La mejora de las cuatro variables analizadas en este aspecto, fueron las hipótesis derivadas de dichos objetivos.

Calidad de Vida

Los resultados de la presente investigación muestran que el grupo HIIT experimentó incrementos significativos ($p < 0,05$) en los componentes físico y social del test SF-36 (FF: 1,9%; RF: 80,3%; DC: 38,9%; SG: 16,6; VT: 21,6%; FS: 34,1%). Los componentes mencionados representan: limitación de actividades físicas (FF), grado en el que la salud física interfiere en el trabajo y en otras actividades diarias (RF), intensidad del dolor y su efecto (DC), valoración personal de la salud presente y futura (SG), sentimiento de energía (VT), grado en el que los problemas de salud influyen en las relaciones sociales (FS) (Cerezo-Téllez et al., 2018). No obstante, no hubo diferencias en las dimensiones mentales del test: RE (grado en el que los problemas emocionales influyen en el trabajo o en otras actividades diarias) y SM (salud mental general) ($p > 0,05$). Además, el grupo control, no mostró variaciones significativas ($p > 0,05$) entre ambas mediciones (pre y post-intervención), lo que causó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambos grupos en la medida post en las variables RF, DC, VT y FS.

Existen numerosas publicaciones que analizan el efecto del ejercicio sobre la calidad de vida en diferentes poblaciones, tanto sanas como con enfermedades cardiometabólicas (Adams et al., 2018; Alanazi et al., 2018; Baguley et al., 2017; Cai et al., 2017; dos Santos Delabary et al., 2018; Ellingsen et al., 2017; Cecilia Ostman et al., 2017; Ribeiro et al., 2017; Sweegers et al., 2018). El HIIT ha sido utilizado como estrategia de entrenamiento en

algunas de las investigaciones mencionadas (Adams et al., 2018; Ellingsen et al., 2017; Ribeiro et al., 2017), mostrando mejoras en la calidad de vida de los participantes (cáncer y fallo cardíaco) aunque algunos de los instrumentos de medición no eran genéricos como el SF-36 utilizado en este estudio, sino que eran específicos para las características de la población estudiada.

En referencia a la DT1, las intervenciones caracterizadas por la aplicación de protocolos de entrenamiento para conocer la calidad de vida de estas personas, están fundamentalmente orientadas a niños, adolescentes y adultos jóvenes (Absil et al., 2019; Anderson et al., 2017; Mutlu et al., 2015; Nazari et al., 2020), mostrando en la mayoría de los casos mejores índices de calidad de vida cuando el ejercicio forma parte del estilo de vida de los participantes o después de un periodo de entrenamiento, aunque el ejercicio puede ser también percibido como un causante de estrés, dado que condiciona el comportamiento de la glucemia, y no tener efectos positivos en la calidad de vida (Häyrynen & Tarkka, 2016).

Estudios de revisión que analizaban el efecto del HIIT en la calidad de vida, con el mismo instrumento utilizado en el presente estudio (SF-36) y con otros test genéricos y específicos de la población estudiada como SF-12 o el cuestionario MacNew, en pacientes con enfermedades cardiovasculares (que es una de las complicaciones más recurrentes en pacientes con DT1) (De Ferranti et al., 2014), encontraron que todas las dimensiones que componían esos tests (física, emocional y social) mejoraron después de completar un periodo de HIIT (con una gran variabilidad en los porcentajes de mejora). En esos estudios analizados en las revisiones había una gran heterogeneidad de protocolos de HIIT, pero es destacable que las investigaciones que mostraron mejoras en el ámbito mental de sus participantes en la calidad de vida, utilizaron protocolos de, al menos, 10 semanas de

duración (Gomes-Neto et al., 2017; Gomes Neto et al., 2018). En el presente estudio, se utilizó un protocolo de 6 semanas, lo que podría indicar que esa diferencia en el volumen total de entrenamiento podría ser determinante en el efecto del HIIT sobre las variables mentales de la calidad de vida, es decir, que para que las variables mentales muestren mejoras los protocolos de entrenamientos deban ser más largos que 6 semanas. De la misma manera, una población con obesidad y DT2 diagnosticada completó un protocolo de 8 semanas de HIIT compuesto por 3 series de 4 minutos (80% VO_2max) intercalado con descansos activos (50% VO_2max) de 2 minutos en cada sesión (3 sesiones por semana). La calidad de vida se midió con el cuestionario de enfermedad crónica de hígado, mostrando mejoras en todos los factores que lo componían (mental, físico y social) (Abdelbasset et al., 2019).

No obstante, los resultados de este estudio van en línea con los obtenidos por Stavrinou y sus colaboradores. Este grupo obtuvo mejoras en el componente físico del SF-36 pero no en el mental en un protocolo de 8 semanas de HIIT 1:1. Este programa se componía de 10 series de alta intensidad de 1 minuto al 85% PPO y se alternaba con series de 1 minuto de descanso activo al 30% PPO, lo que indica características similares al presente protocolo, pero aplicado a personas sanas y sedentarias (Stavrinou et al., 2018).

En relación a los estudios previos más relacionados con el aquí expuesto, dos estudios mencionados anteriormente (A. Lee et al., 2020; Minnebeck et al., 2020), analizaron el efecto de sus protocolos HIIT en personas con sobrepeso y DT1. El grupo de Angela Lee tras analizar la calidad de vida de los participantes con el cuestionario "Diabetes Quality of Life" no mostró diferencias significativas tras la aplicación de su protocolo de 12 semanas de HIIT. Por su parte, el grupo de Katharina Minnebeck, utilizando el mismo instrumento que el utilizado en la presente investigación (SF-36), solamente mostraron

mejoras significativas ($p < 0,05$) en el parámetro de RF tras la intervención de 4 semanas. Estos resultados guardan importantes diferencias con los presentes en este trabajo, al no denotar grandes cambios en la calidad de vida de las personas con DT1 al completar un protocolo HIIT, como sí se ha observado en este estudio tras el análisis de los datos.

En este sentido, es importante hacer referencia a la cautela con la que las comparaciones de los resultados deben ser considerados, debido a la falta de estudios previos que analicen el efecto del HIIT en la calidad de vida de personas con DT1 y a las diferencias metodológicas de los ya existentes.

Calidad del Sueño

En el presente estudio, el grupo HIIT mejoró la puntuación global en el test PSQI un 21,4% ($p < 0,05$), desde 6,1 de puntuación (calidad del sueño pobre) hasta 4,8 (buena calidad del sueño) (Jurado-Fasoli et al., 2020). También se encontraron diferencias significativas entre grupos ($p < 0,05$) en la medida post-intervención, lo que indicaba una mejora en la percepción subjetiva de calidad del sueño tras el periodo de entrenamiento en el grupo HIIT. Por el contrario, el grupo control no experimentó ningún cambio ($p > 0,05$) entre las mediciones pre y post-intervención, quedándose la puntuación ligeramente por encima del límite de lo considerado “baja calidad del sueño” (5,1) (Buysse et al., 1989).

Hasta ahora, la literatura previa referente a este tema se ha centrado en el efecto del ejercicio en la hipoglucemia nocturna, debido a la relevancia que tiene en la calidad del sueño en personas con DT1, y no en la medida directa de la calidad del sueño, ni de manera subjetiva ni objetiva. El ejercicio aeróbico ha mostrado incrementar la probabilidad de hipoglucemia nocturna en personas con DT1 (Jacobs & Reddy, 2020). Por ello, estudios recientes han mostrado el HIIT como una herramienta interesante para la prevención de la

hipoglucemia post-ejercicio y nocturna, especialmente, si se desarrolla a primeras horas de la mañana (Farinha et al., 2017, 2018; Jacobs & Reddy, 2020; Tonoli et al., 2012). Esto podría explicar la mejora en la calidad del sueño encontrada en nuestra investigación en el grupo HIIT, dado que no se produjeron hipoglucemias severas, incluyendo los periodos nocturnos. Los desórdenes del sueño tienen influencia negativa en la salud mental y física, reduciendo así la calidad de vida de las personas con DT1. El HIIT podría postularse como una estrategia de entrenamiento interesante para mejorar la calidad del sueño, en parte debido a la prevención de la hipoglucemia post-ejercicio y consecuentemente influir positivamente en la calidad de vida de estas personas.

Disfrute y HIIT

En referencia al disfrute percibido por los participantes hacia el HIIT, los resultados del estudio muestran una mejora del 7% ($p < 0,05$) en la puntuación del test PACES en el grupo HIIT, tras el periodo de intervención. También se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos (HIIT y control) en la medida post-intervención. Estos resultados apoyan los obtenidos en estudios previos que observaron que el HIIT aumenta, en diferentes medidas, el disfrute hacia el ejercicio tanto en personas sanas como con patologías, pero lo hacían comparándolo con ejercicio continuo de moderada intensidad, usando, en su mayoría, el test PACES para determinar el disfrute hacia el ejercicio (Bottoms et al., 2019; Oliveira et al., 2018; Roy et al., 2018; Thum et al., 2017; Vella et al., 2017). No existen estudios previos que investiguen el disfrute en HIIT en personas con DT1. El estudio más parecido en cuanto a metodología es de Heisz y sus colaboradores, quienes buscaron determinar el efecto de un protocolo de 6 semanas de HIIT sobre el disfrute del ejercicio en personas sedentarias y que consistía en 10 series de 1 minuto al 90-

95% de la FC_{máx} seguido de periodos de 1 minutos de descanso pedaleando a 50 W con ajuste de la carga durante las 6 semanas, resultando en un incremento del 10,7% en la escala PACES, en congruencia con los resultados de esta tesis pero con una magnitud mayor (Heisz et al., 2016).

Es importante señalar que los resultados en el cuestionario inicial son relativamente altos, lo que indica que en los participantes influyen más otras razones para no hacer ejercicio de manera regular que el propio disfrute de practicarlo. Se hipotetizó que el miedo a las hipoglucemias o a eventos adversos a consecuencia de la regulación glucémica junto con la falta de tiempo, destacan entre las razones por las que estas personas no hacen ejercicio regularmente.

Motivación y HIIT

La falta de motivación es uno de las barreras más importantes que las personas con DT1 indican para no hacer ejercicio físico (Lascar et al., 2014). Los resultados sugieren que el protocolo de 18 sesiones de HIIT aplicado, incrementa ($p < 0,05$) la regulación autodeterminada de la motivación hacia el ejercicio físico: intrínseca (13%) e identificada (8,2%). Por otra parte, la regulación externa y la desmotivación se redujeron un 34,7% y 46,6% respectivamente ($p < 0,05$). Estos resultados revelan un aumento de la motivación autodeterminada hacia el ejercicio físico, lo que podría ayudar a superar la barrera mencionada por personas con DT1 a través del HIIT. Estos resultados están en línea con los de un grupo de investigación canadiense, el cual examinó el efecto de una sesión de HIIT en la motivación autodeterminada hacia este método de entrenamiento (D. M. Y. Brown et al., 2016). Los participantes del estudio eran estudiantes activos sin experiencia en HIIT. La sesión de HIIT consistía en 10 series de 1 minuto al 70% de la PPO seguidos de intervalos de

descanso de 1 minuto al 12,5% PPO. Los resultados obtenidos eran semejantes a los que se consiguieron en esta investigación, dado que después del HIIT los participantes mostraron mayor regulación autónoma en la motivación hacia el ejercicio (medida con el BREQ-2, pero con un único índice). A pesar de la semejanza en los resultados hay que tener muy en cuenta que solo desarrollaban una sesión de HIIT y que el efecto acumulado fue lo que en el presente trabajo se analizó. Por otra parte, un protocolo de HIIT de 10 meses (que incluía ejercicios funcionales) desarrollado por mujeres con obesidad y previamente inactivas, incrementó la regulación intrínseca (33%) y la identificada (88%). Además, la regulación externa se redujo un 75%. Estos resultados corroboran los obtenidos aquí, pero con un efecto mucho mayor, debido probablemente, a la diferencia en el volumen total de entrenamiento. Estos antecedentes parecen indicar que el HIIT promueve la regulación autodeterminada hacia el ejercicio físico. Las razones que podrían explicar que el HIIT mejora la motivación están relacionadas con los efectos que este tipo de entrenamiento causa y sus características específicas.

La teoría de la autodeterminación (TAD) (Ryan & Deci, 2000), considera que existen tres necesidades psicológicas básicas (autonomía, competencia y relaciones sociales). La satisfacción de estas necesidades influye en la motivación hacia el ejercicio físico. En este sentido, la TAD indica que las personas muestran mayor regulación intrínseca (“hago el ejercicio porque lo disfruto”) si perciben que tienen capacidad de decisión, eficacia en la tarea que están desarrollando y buena relación con las personas que tienen a su alrededor. No obstante, si las necesidades psicológicas mencionadas se ven frustradas, probablemente se desarrolle una regulación externa hacia el ejercicio (hago ejercicio para conseguir algo, no porque me guste”) o desmotivación (Moreno Murcia et al., 2009). Inicialmente fue hipotetizado que el protocolo utilizado incrementó las regulaciones más autodeterminadas y

redujo las más externas debido a tres razones fundamentalmente: (1) debido a que el protocolo era 1:2, los participantes pudieron completarlo eficazmente pero con un alto nivel de exigencia, lo que aumentó su percepción de competencia hacia la tarea; (2) los participantes elegían la hora a la que querían entrenar dentro de un rango establecido, si escuchaban música o no (qué música escuchar en su caso) y no se les exigió ajustes de insulina o ingesta de carbohidratos demasiado específicos que les generasen preocupación o estrés. Estos factores pudieron influir en su percepción de autonomía; (3) los sujetos estaban en contacto entre ellos, hablaban sobre la investigación cuando se encontraban en el laboratorio, organizaron reuniones fuera del mismo y aumentaron su relación a través de las redes sociales. Estos aspectos pudieron influir en su percepción de relaciones sociales (Batrakoulis et al., 2019; Calvo et al., 2010; Moreno & Cervelló, 2010; Ryan & Deci, 2000).

Puesto que el disfrute y la motivación autodeterminada están altamente correlacionadas con la adherencia al ejercicio (Heinrich et al., 2014; Oliveira et al., 2018; Vella et al., 2017). Los resultados sugieren que un protocolo 1:2 de 6 semanas de HIIT es una estrategia interesante de entrenamiento para incrementar la adherencia al ejercicio en un población con DT1 previamente sedentaria.

Tolerancia al Ejercicio

Los participantes fueron capaces de completar todas las sesiones de entrenamiento a la intensidad deseada para considerar que el ejercicio físico es tipo HIIT (Lipski et al., 2018; López Chicharro & Vicente Campos, 2018). Sin embargo en los estudios específicos de HIIT en personas con DT1, no analizan la capacidad de tolerar los entrenamientos de los participantes, no exponiendo ningún parámetro fisiológico o subjetivo con el que poder comparar la respuesta de los sujetos a los entrenamientos. No obstante, las muestras también son sedentarias y en algunos casos tienen sobrepeso, y muestran que los

participantes también fueron capaces de completar las sesiones a pesar de aplicar protocolos HIIT con cargas más altas: tanto por el volumen total de entrenamiento, como por la intensidad.

Eventos Adversos

Los resultados obtenidos en relación a las variaciones de la glucemia post-entrenamiento siguen la línea de las investigaciones previas que aplicando HIIT en personas con DT1 mostraron la ausencia de episodios graves de hipoglucemia post-ejercicio en los participantes (Boff et al., 2019; Farinha et al., 2017, 2018, 2019; Scott et al., 2018; Scott, Shepherd, Strauss, et al., 2019), lo que reafirma la idea de que el HIIT es una buena modalidad de entrenamiento para prevenir hipoglucemias en personas con DT1. Por su parte, en el estudio de Lee y colaboradores (A. Lee et al., 2020) tuvo lugar un episodio de hipoglucemia severo que requirió atención médica. Algo similar ocurrió en la investigación del grupo de Minnebeck (Minnebeck et al., 2020), pero en esta ocasión la ingesta de carbohidratos de rápida absorción subsanó el problema.

Conclusiones Finales

En este apartado se analizará el grado en el que nuestras hipótesis iniciales se cumplen en función de los resultados obtenidos y los objetivos propuestos.

Objetivo 1 (O1): Conocer el Efecto del Protocolo HIIT sobre las Variables Cardiometabólicas

En relación al O1, se determinaron diferentes hipótesis en base a cada una de las variables estudiadas. Tras el análisis de los resultados, se puede afirmar que la H1 (el VO_2 máx aumentaría en el grupo HIIT) se cumplió. El grupo HIIT aumentó su consumo máximo de oxígeno, esperable debido a su condición de personas sedentarias. A diferencia del grupo control que permaneció en valores similares, algo obvio al no hacer ejercicio físico en el periodo de intervención.

En base también al O1, la H2 relacionada con la VFC (este parámetro aumentaría en el grupo HIIT), se cumplió, ya que la VFC aumentó la modulación parasimpática, mientras que en el grupo control no hubo cambios. Por su parte la H3, en la que se proponía una mejora de la composición corporal, se efectuó de la manera esperada, ya que los participantes aumentaron su masa libre de grasa y disminuyeron la grasa. Por último, la glucemia en ayunas se redujo en el grupo experimental tras el periodo de entrenamiento, lo que hace que se acepte la H4.

Objetivo 2 (O2): Conocer el Efecto del Protocolo HIIT sobre las Variables Funcionales

Las hipótesis efectuadas en relación al O2, fueron más difíciles de determinar debido a la falta de literatura previa que examinara esas variables. No obstante, todas ellas fueron aceptadas, aunque con determinados matices. En la H5 se propuso una mejora de la velocidad de ejecución en sentadilla en las 3 cargas aplicadas a los sujetos experimentales, lo

cual se cumplió, aunque en diferente medida. Debido a la ausencia de referencias previas, no se estableció la diferencia que podría resultar entre las tres cargas. Por su parte, la H6, relacionada con la mejora de la dorsiflexión de tobillo debido al movimiento propio del cicloergómetro, siguiendo esta línea, se cumplió. No obstante, se observaron diferencias entre ambas extremidades. Finalmente, el O2 se concretó con el análisis del equilibrio dinámico, de cuyo análisis previo se supuso (H7) una mejora en todas las direcciones del Y-Test. Sin embargo, no fue así ya que a pesar de que en el resto sí hubo mejoras estadísticas ($p < 0,05$), la dirección PM-derecha no resultó en cambios significativos.

Objetivo 3 (O3): Conocer el Efecto del Protocolo HIIT sobre las Variables Psicológicas

El O3 de esta investigación fue analizar qué ocurría con la calidad de vida y del sueño de las personas con DT1 al iniciar un programa de ejercicio físico tipo HIIT. Además de estudiar si dicho protocolo, generaba adherencia al ejercicio al mejorar el disfrute y la motivación autodeterminada del mismo. De este O3, se extrajeron diferentes hipótesis. La primera (H8), se refería a la mejora de la calidad de vida del grupo HIIT. Esta circunstancia se produjo, aunque con matices. Las variables mentales no mejoraron en el grupo experimental, solo las físicas. En cuanto a la calidad del sueño (H9), se cumplió al mejorarse, en el grupo HIIT, los resultados del test PSQI que determinaba esta variable. El grupo control por su parte, permaneció sin cambios.

En relación a la adherencia al ejercicio, se propuso el aumento del disfrute y la autodeterminación de la motivación de los participantes (H10), lo cual se cumplió y con resultados muy llamativos, ya que tanto el disfrute como las dimensiones más autodeterminadas del continuo de motivación que establece la TAD aumentaron

significativamente ($p < 0,05$) sus resultados en el grupo HIIT tras las 6 semanas de HIIT, permaneciendo sin cambios en el grupo control.

Objetivo 4 (O4): Aplicar un Protocolo HIIT Tolerable por los Participantes.

Todos los participantes integrados en el grupo experimental fueron capaces de completar todas sus sesiones de HIIT programadas, tanto por la ausencia de eventos metabólicos, cardiovasculares y/o musculoesqueléticos como por su rendimiento físico. Además, la percepción subjetiva del esfuerzo final media indicada por los participantes (7,86), indica que la carga de entrenamiento fue suficiente para considerarlo un entrenamiento de alta intensidad. Por tanto, la hipótesis derivada del O4 (H11): todos los participantes completarían los entrenamientos a intensidades altas; se confirmó tras el periodo de investigación.

Objetivo 5 (O5): Aplicar un Protocolo HIIT que Evite Episodios Adversos

La última hipótesis (H12) que se propuso al inicio del estudio fue la relacionada con el O5 y probablemente el más importante, ya que se relaciona con la seguridad de los participantes. Tras la revisión de la bibliografía existente y adoptar las medidas necesarias en cada circunstancia, el estudio terminó en este sentido satisfactoriamente, ya que no hubo ningún evento metabólico, cardiovascular o muscular adverso que requiriese atención médica o que tuviese consecuencias importantes. Por tanto, la H12 obtenida del O5, se completó tal y como se esperaba, dando lugar a una de las conclusiones principales del estudio: el HIIT tipo 1:2 es seguro para las personas con DT1.

En resumen, las conclusiones finales de este estudio son que un protocolo de 6 semanas (3 sesiones por semana) de HIIT tipo 1:2 con incremento progresivo del volumen a lo largo de la intervención, aplicado en personas con DT1 y ejecutado en cicloergómetro,

podría ser suficiente para producir mejoras en VO_2 máx, la VFC, la composición corporal y la glucemia en ayunas en relación a variables relacionadas con el sistema cardiovascular. Del mismo modo, este protocolo causó mejoras en la funcionalidad física de estas personas a través de la fuerza en los miembros inferiores, la dorsiflexión del tobillo y el equilibrio dinámico. Por último, este entrenamiento generó efectos positivos a nivel de bienestar psicológico (calidad de vida y sueño) y adherencia al ejercicio tipo HIIT (motivación autodeterminada y disfrute). Además todos los participantes pudieron completar el HIIT a la intensidad exigida y en condiciones de seguridad ya que no hubo eventos adversos reseñables. Por tanto, este protocolo podría postularse como una estrategia interesante para que personas sedentarias con DT1 se inicien en la práctica de ejercicio físico regular.

A continuación, se muestra una tabla resumen de la aceptación o rechazo de las hipótesis en función de los objetivos y qué matices hubo en cada una de ellas:

Figura 34

Aceptación o Rechazo de las Hipótesis Planteadas Inicialmente en Base a los Objetivos

Objetivo	Hipótesis	Interpretación
O1	H1	El protocolo HIIT fue eficaz en la mejora del VO ₂ máx en el grupo HIIT.
	H2	La VFC adquirió una modulación más parasimpática en el grupo HIIT tras el periodo de intervención.
	H3	La masa grasa disminuyó y la masa libre de grasa aumentó en el grupo HIIT tras el protocolo.
	H4	El HIIT ayudó a reducir la glucemia en ayunas de los participantes.
O2	H5	La velocidad en sentadilla aumentó tras la intervención en el grupo HIIT.
	H6	La dorsiflexión de tobillo aumentó, pero con diferencias entre ambas extremidades.
	H7	El equilibrio dinámico mostró mejoras en todas las direcciones excepto en la dirección PM-derecha.
O3	H8	La calidad de vida aumentó en sus variables físicas, en cambio, las variables mentales no mostraron mejoras.
	H9	La calidad del sueño mejoró significativamente en el grupo que entrenó.
	H10	La adherencia al ejercicio aumentó a través del disfrute autodeterminación.
O4	H11	Todos los participantes pudieron completar los entrenamientos a la intensidad exigida.
O5	H12	No se dieron eventos graves en la salud de los participantes.

Nota. Color verde=hipótesis aceptada; color amarilla=hipótesis aceptada con matices.

Aplicaciones Prácticas

Tras analizar y argumentar los resultados obtenidos en la presente investigación, es posible aplicar las conclusiones extraídas en la prescripción de ejercicio físico en personas sedentarias con DT1.

Cuando una persona de estas características desea iniciar un programa de entrenamiento, pero su desconocimiento acerca del control de las variables que entran en juego (nivel de glucemia, alimentación, características del ejercicio) le genera rechazo, nuestro papel como profesionales del ejercicio físico es facilitarles el camino. Ayudarles a comprender cómo les va a afectar un tipo de entrenamiento y por qué, de manera que lo entiendan y superen la primera barrera: el miedo a que les ocurra algo malo debido a su enfermedad.

La literatura científica y los resultados obtenidos en este trabajo parecen indicar que el HIIT es un método de entrenamiento adecuado para que las personas con DT1 se inicien en el ejercicio físico, no solo por el efecto agudo de prevención de hipoglucemias, sino también por los efectos positivos que genera de manera crónica. Existen en este sentido, dos ingredientes fundamentales para que las personas con DT1 practiquen ejercicio físico: la seguridad de que el HIIT no les va a afectar negativamente en su salud de manera aguda y la expectativa de conseguir prevenir las complicaciones de la enfermedad.

Siguiendo esta línea, y atendiendo a una característica fundamental del HIIT: la no exigencia de largos periodos de tiempo para completar el entrenamiento, se obtiene el tercer ingrediente necesario para que las personas con DT1 hagan ejercicio físico, el cual sería superar la barrera de la falta de tiempo para practicarlo de manera regular.

Se podría hablar de que el HIIT, siempre con la cautela requerida por la necesidad de ampliar las investigaciones en este campo, es un método de entrenamiento adecuado para que las personas con DT1 previamente sedentarias (las cuales son la mayoría) se inicien en la práctica regular de ejercicio físico.

No obstante, en el uso del HIIT, es importante informar al participante del por qué de sus beneficios y el por qué de la seguridad para practicarlo a diferencia de, por ejemplo, el entrenamiento aeróbico, de este modo iniciarán el programa de ejercicio físico con confianza. Sin embargo, es importante que controlen frecuentemente su glucemia para asegurarse de que las medidas que toman son las correctas. Iniciar el ejercicio físico con una glucemia superior a 100mg/dl y disponer de carbohidratos de rápida absorción así como insulina de acción rápida es importante para que su percepción de seguridad y confianza sea alta y poco a poco se vaya incrementando. Siempre con la prudencia y vigilancia necesaria. El cuerpo humano no es matemático.

El protocolo 1:2 utilizado ha evidenciado ser eficaz para obtener resultados crónicos y a su vez, ser asequible para los participantes, que previamente eran inactivos. Por lo tanto, sería una buena estrategia para comenzar. Pero no es algo que se pueda mantener para siempre. Probablemente, llegará un punto en que la repetición de sesiones disminuya la motivación. Sería entonces un buen momento para incluir otros métodos de entrenamiento o variar la configuración del HIIT. Incluir el entrenamiento de fuerza en el programa de ejercicio sería una buena opción, tanto por su similitud en el comportamiento metabólico con el HIIT como por los beneficios que aporta. Siempre y cuando el tiempo disponible por el participante lo permita.

El ejercicio físico aeróbico de moderada intensidad quedaría de este modo relegado en las prioridades de ejercicio físico de estas personas, principalmente, por el desajuste

glucémico que genera. A pesar de ello, es importante incluir sesiones de este tipo tanto por los beneficios que aporta como por el aprendizaje de la enfermedad que generaría en los participantes. Analizando la reducción en la insulina pre-ejercicio y el aporte calórico post-ejercicio con detalle sería suficiente para incluir este tipo de entrenamiento en el programa de estas personas, pero como ha sido mencionado, de manera no prioritaria.

El HIIT, por su parte, podría ir evolucionando en base a las adaptaciones producidas en el organismo del sujeto. Así, modificar los periodos de descanso, de trabajo a alta intensidad, las series o la intensidad sería interesante para ir ajustando la carga del HIIT a la condición física del participante y también, mantener la motivación ante la novedad del ejercicio (González-Cutre et al., 2016). No es posible establecer un orden en las modificaciones para incrementar la carga total de trabajo ya que ésta debe establecerse en función de las características individuales físicas (nivel de condición física) y económico-sociales (tiempo, material o instalaciones) de cada participante.

Ejercicio físico y diabetes tipo 1 es un ámbito de las Ciencias del Deporte que aún requiere mucha investigación para conocer qué tipo de entrenamientos, qué cargas o qué ambientes son los más adecuados para esta población. Esta tesis doctoral aporta un granito de arena en la prevención de complicaciones derivadas de la diabetes tipo 1 a través del ejercicio físico, y muestra que con un sencillo protocolo de HIIT, estas personas, aparte de mejorar su salud multifactorialmente, se adhieren a este tipo de entrenamiento porque lo perciben seguro, eficaz y eficiente: superando así las principales barreras que les impiden iniciarse en la práctica de ejercicio físico, lo cual al fin y al cabo es lo importante.

Probablemente (falta mucha investigación por realizarse en este campo), muchos caminos (muchos métodos y tipos de entrenamiento) lleven a Roma (prevención de complicaciones propias de la DT1 con ejercicio físico). Pero estas personas jamás llegarán a

Roma si no toman un camino. Esta investigación indica que el HIIT tipo 1:2 desarrollado en cicloergómetro podría ser una buena opción para iniciar ese camino.

Limitaciones y Dificultades

La primera limitación, y probablemente la más importante, fue el número de participantes, ya que se necesitaban personas adultas con la patología, que no practicasen ejercicio físico de forma regular y que pudieran acudir a realizar todas las pruebas y entrenamientos en el caso del grupo experimental, lo que reducía mucho la potencial cantidad de gente con posibilidad de participar. Por ello, la búsqueda y determinación de la muestra se extendió durante 2 años.

Otra dificultad que los investigadores encontraron fue la de adaptar los horarios de los participantes para llevar a cabo las mediciones y los entrenamientos en el caso del grupo experimental, a sus horarios de trabajo y docencia. Gracias a la gran implicación por parte de los sujetos experimentales y el esfuerzo de los investigadores, se pudo completar todo el procedimiento acorde a lo que se tenía previsto antes de iniciarlo. Por ello, se optó por una duración total de 6 semanas de entrenamiento, ya que más tiempo del que finalmente se realizó hubiera sido insostenible y no se podría haber completado eficazmente.

En relación a las variables cardiometabólicas, el método utilizado para la determinación de la glucemia en ayunas, además de no registrar las dosis de insulina que se administraban los participantes antes y después del entrenamiento pueden suponer limitaciones del estudio, ya que un análisis bioquímico de la glucemia así como el estudio de la insulina podrían dar información más detallada de los cambios metabólicos ocasionados por el entrenamiento. Del mismo modo, el control estricto de la dieta de los participantes podría dar más información sobre control metabólico de los participantes.

En cuanto a las variables funcionales, un análisis bioquímico de los productos finales de glicación avanzada podría mostrar más información acerca del estado de los tejidos como tendones en los que se acumulan y que están relacionados con la fuerza, el equilibrio y la movilidad.

Por último, con cuestionarios específicos de la diabetes para determinar la calidad de vida y análisis objetivo del sueño para analizar la calidad del sueño, los resultados podrían ser más concretos. Por otra parte, el análisis de práctica futura de ejercicio físico habría dado información de la permanencia de la adherencia al ejercicio en los participantes.

En cuanto a los resultados y su argumentación hubo la dificultad de comparar los presentes con literatura previa, dada la escasez de artículos científicos con temática y metodología similar, es por ello, que los resultados del presente trabajo deben ser considerados con precaución y se debe incrementar la investigación relacionada con los efectos del HIIT a nivel crónico en personas con DT1.

Futuras Líneas de Investigación

A la vista de las conclusiones del presente estudio y de la investigación previa realizada al respecto, se proponen las siguientes líneas de investigación en el ámbito del ejercicio físico en personas con DT1:

- Conservando la misma metodología de entrenamiento y el tipo de muestra (incrementando el número de participantes a ser posible), aumentar el volumen de entrenamiento (más de 6 semanas) para conocer el alcance del cambio en las variables analizadas.
- Añadir un tercer grupo de personas con DT1 que practiquen ejercicio continuo de moderada intensidad con una carga de entrenamiento similar al HIIT propuesto en la presente investigación, con el objetivo de conocer la diferencia entre ambas modalidades en las variables estudiadas.
- Comparar el efecto del entrenamiento propuesto en este trabajo en las variables analizadas, entre personas sanas y con DT1, ambas poblaciones siendo previamente sedentarias.
- Añadir variables de estudio a las que se analizaron en el presente trabajo: analizar efectos bioquímicos del entrenamiento en personas con DT1, otras variables funcionales como la marcha y/o otras variables relacionadas con el bienestar psicológico como el sueño determinado de manera objetiva.

Lista de Referencias

- Abate, M., Schiavone, C., Salini, V., & Andia, I. (2013). Management of limited joint mobility in diabetic patients. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 6, 197–207. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S33943>
- Abdelbasset, W. K., Tantawy, S. A., Kamel, D. M., Alqahtani, B. A., & Soliman, G. S. (2019). A randomized controlled trial on the effectiveness of 8-week high-intensity interval exercise on intrahepatic triglycerides, visceral lipids, and health-related quality of life in diabetic obese patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Medicine (United States)*, 98(12). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014918>
- Abreu, R. M. de, Rehder-Santos, P., Simões, R. P., & Catai, A. M. (2018). Can high-intensity interval training change cardiac autonomic control? A systematic review. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.09.010>
- Absil, H., Baudet, L., Robert, A., & Lysy, P. A. (2019). Benefits of physical activity in children and adolescents with type 1 diabetes: A systematic review. In *Diabetes Research and Clinical Practice* (Vol. 156, p. 107810). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.107810>
- Adams, S. C., Delorey, D. S., Davenport, M. H., Fairey, A. S., North, S., & Courneya, K. S. (2018). Effects of high-intensity interval training on fatigue and quality of life in testicular cancer survivors. *British Journal of Cancer*, 118(10), 1313–1321. <https://doi.org/10.1038/s41416-018-0044-7>
- Agashe, S., & Petak, S. (2018). Cardiac Autonomic Neuropathy in Diabetes Mellitus. In *Methodist DeBakey cardiovascular journal* (Vol. 14, Issue 4, pp. 251–256). NLM (Medline). <https://doi.org/10.14797/mdcj-14-4-251>
- Alanazi, M. H., Parent, E. C., & Dennett, E. (2018). Effect of stabilization exercise on back

- pain, disability and quality of life in adults with scoliosis: A systematic review. In *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine* (Vol. 54, Issue 5, pp. 647–653). Edizioni Minerva Medica. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.17.05062-6>
- Alansare, A., Alford, K., Lee, S., Church, T., & Jung, H. C. (2018). The effects of high-intensity interval training vs. Moderate-intensity continuous training on heart rate variability in physically inactive adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph15071508>
- Allen, N. G., Higham, S. M., Mendham, A. E., Kastelein, T. E., Larsen, P. S., & Duffield, R. (2017). The effect of high-intensity aerobic interval training on markers of systemic inflammation in sedentary populations. *European Journal of Applied Physiology*, 117(6), 1249–1256. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3613-1>
- Alsamir Tibana, R., Manuel Frade de Sousa, N., Prestes, J., da Cunha Nascimento, D., Ernesto, C., Falk Neto, J. H., Kennedy, M. D., & Azevedo Voltarelli, F. (2019). Is Perceived Exertion a Useful Indicator of the Metabolic and Cardiovascular Responses to a Metabolic Conditioning Session of Functional Fitness? *Sports*, 7(7), 161. <https://doi.org/10.3390/sports7070161>
- Amed, S., & Oram, R. (2016). Maturity-Onset Diabetes of the Young (MODY): Making the Right Diagnosis to Optimize Treatment. *Canadian Journal of Diabetes*, 40(5), 449–454. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2016.03.002>
- American Diabetes Association. (2020). 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes-2020. In *Diabetes care* (Vol. 43, Issue Supplement 1, pp. S14–S31). NLM (Medline). <https://doi.org/10.2337/dc20-S002>
- American Diabetes Association. (2019). Standards of Medical Care in Diabetes-2019 Abridged for Primary Care Providers. *Clinical Diabetes : A Publication of the American*

- Diabetes Association*, 37(1), 11–34. <https://doi.org/10.2337/cd18-0105>
- Anaruma, C. P., Ferreira, M., Sponton, C. H. G., Delbin, M. A., & Zanesco, A. (2016). Heart rate variability and plasma biomarkers in patients with type 1 diabetes mellitus: Effect of a bout of aerobic exercise. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 111, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2015.10.025>
- Anderson, B. J., Laffel, L. M., Domenger, C., Danne, T., Phillip, M., Mazza, C., Hanas, R., Waldron, S., Beck, R. W., Calvi-Gries, F., & Mathieu, C. (2017). Factors associated with diabetes-specific health-related quality of life in youth with type 1 diabetes: The global teens study. *Diabetes Care*, 40(8), 1002–1009. <https://doi.org/10.2337/dc16-1990>
- Arena, R., Myers, J., Forman, D. E., Lavie, C. J., & Guazzi, M. (2013). Should high-intensity-aerobic interval training become the clinical standard in heart failure? In *Heart Failure Reviews* (Vol. 18, Issue 1, pp. 95–105). <https://doi.org/10.1007/s10741-012-9333-z>
- Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., & Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, $\dot{V}O_{2\max}$, and muscular force. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 138–145. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318218dd77>
- Atkinson, M. A., Eisenbarth, G. S., & Michels, A. W. (2014). Type 1 diabetes. In *The Lancet* (Vol. 383, Issue 9911, pp. 69–82). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60591-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60591-7)
- Azuma, K., & Matsumoto, H. (2017). Potential universal application of high-intensity interval training from athletes and sports lovers to patients. In *Keio Journal of Medicine* (Vol. 66, Issue 2, pp. 19–24). Keio University School of Medicine. <https://doi.org/10.2302/kjm.2016-0006-IR>
- Badillo, J. J. G., & Serna, J. R. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. INDE.

- Baguley, B., Bolam, K., Wright, O., & Skinner, T. (2017). The Effect of Nutrition Therapy and Exercise on Cancer-Related Fatigue and Quality of Life in Men with Prostate Cancer: A Systematic Review. *Nutrients*, *9*(9), 1003. <https://doi.org/10.3390/nu9091003>
- Bally, L., Zueger, T., Buehler, T., Dokumaci, A. S., Speck, C., Pasi, N., Ciller, C., Paganini, D., Feller, K., Loher, H., Rosset, R., Wilhelm, M., Tappy, L., Boesch, C., & Stettler, C. (2016). Metabolic and hormonal response to intermittent high-intensity and continuous moderate intensity exercise in individuals with type 1 diabetes: a randomised crossover study. *Diabetologia*, *59*(4), 776–784. <https://doi.org/10.1007/s00125-015-3854-7>
- Bancks, M. P., Ning, H., Allen, N. B., Bertoni, A. G., Carnethon, M. R., Correa, A., Echouffo-Tcheugui, J. B., Lange, L. A., Lloyd-Jones, D. M., & Wilkins, J. T. (2019). Long-term absolute risk for cardiovascular disease stratified by fasting glucose level. *Diabetes Care*, *42*(3), 457–465. <https://doi.org/10.2337/dc18-1773>
- Banno, M., Harada, Y., Taniguchi, M., Tobita, R., Tsujimoto, H., Tsujimoto, Y., Kataoka, Y., & Noda, A. (2018). Exercise can improve sleep quality: A systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, *2018*(7), e5172. <https://doi.org/10.7717/peerj.5172>
- Barnard, K., James, J., Kerr, D., Adolfsson, P., Runion, A., & Serbedzija, G. (2016). Impact of Chronic Sleep Disturbance for People Living With T1 Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, *10*(3), 762–767. <https://doi.org/10.1177/1932296815619181>
- Basnett, C. R., Hanish, M. J., Wheeler, T. J., Miriovsky, D. J., Danielson, E. L., Barr, J. B., & Grindstaff, T. L. (2013). Ankle dorsiflexion range of motion influences dynamic balance in individuals with chronic ankle instability. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *8*(2), 121–128.
- Batrakoulis, A., Loules, G., Georgakouli, K., Tsimeas, P., Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Papanikolaou, K., Deli, C. K., Syrou, N., Comoutos, N., Theodorakis, Y., Jamurtas, A. Z., &

- Fatouros, I. G. (2019). High-intensity interval neuromuscular training promotes exercise behavioral regulation, adherence and weight loss in inactive obese women. *European Journal of Sport Science*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1663270>
- Bellumori, M., Uygur, M., & Knight, C. A. (2017). High-Speed Cycling Intervention Improves Rate-Dependent Mobility in Older Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(1), 106–114. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001069>
- Benis, R., Bonato, M., & La Torre, A. (2016). Elite female basketball players' body-weight neuromuscular training and performance on the Y-balance test. *Journal of Athletic Training*, 51(9), 688–695. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.12.03>
- Bini, R. R., & Diefenthaler, F. (2010). Kinetics and kinematics analysis of incremental cycling to exhaustion. *Sports Biomechanics*, 9(4), 223–235. <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.540672>
- Bishay, R. H., & Greenfield, J. R. (2016). A review of maturity onset diabetes of the young (MODY) and challenges in the management of glucokinase-MODY. In *The Medical journal of Australia* (Vol. 205, Issue 10, pp. 480–485). <https://doi.org/10.5694/mja16.00458>
- Bluestone, J. A., Herold, K., & Eisenbarth, G. (2010). Genetics, pathogenesis and clinical interventions in type 1 diabetes. In *Nature* (Vol. 464, Issue 7293, pp. 1293–1300). <https://doi.org/10.1038/nature08933>
- Boff, W., Da Silva, A. M., Farinha, J. B., Rodrigues-Krause, J., Reischak-Oliveira, A., Tschiedel, B., Puñales, M., & Bertoluci, M. C. (2019). Superior effects of high-intensity interval vs. moderate-intensity continuous training on endothelial function and cardiorespiratory fitness in patients with type 1 diabetes: A randomized controlled trial. *Frontiers in Physiology*, 10(APR). <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00450>

- Boniol, M., Dragomir, M., Autier, P., & Boyle, P. (2017). Physical activity and change in fasting glucose and HbA1c: a quantitative meta-analysis of randomized trials. *Acta Diabetologica*, *54*(11), 983–991. <https://doi.org/10.1007/s00592-017-1037-3>
- Bottoms, L., Leighton, D., Carpenter, R., Anderson, S., Langmead, L., Ramage, J., Faulkner, J., Coleman, E., Fairhurst, C., Seed, M., & Tew, G. (2019). Affective and enjoyment responses to 12 weeks of high intensity interval training and moderate continuous training in adults with Crohn's disease. *PLoS ONE*, *14*(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222060>
- Boutcher, S. H. (2011). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of Obesity*, *2011*, 868305. <https://doi.org/10.1155/2011/868305>
- Boutcher, S. H., Park, Y., Dunn, S. L., & Boutcher, Y. N. (2013). The relationship between cardiac autonomic function and maximal oxygen uptake response to high-intensity intermittent-exercise training. *Journal of Sports Sciences*, *31*(9), 1024–1029. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.762984>
- Brazeau, A. S., Leroux, C., Mircescu, H., & Rabasa-Lhoret, R. (2012). Physical activity level and body composition among adults with type 1 diabetes. *Diabetic Medicine : A Journal of the British Diabetic Association*, *29*(11), e402-8. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2012.03757.x>
- Brennan, M. C., Brown, J. A., Ntoumanis, N., & Leslie, G. D. (2020). Barriers and facilitators of physical activity participation in adults living with type 1 diabetes: A systematic scoping review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0461>
- Bressel, E., Yonker, J. C., Kras, J., & Heath, E. M. (2007). Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball, and gymnastics athletes. *Journal of*

Athletic Training, 42(1), 42–46. /pmc/articles/PMC1896078/?report=abstract

- Brown, D. M. Y., Teseo, A. J., & Bray, S. R. (2016). Effects of autonomous motivational priming on motivation and affective responses towards High-Intensity interval training. *Journal of Sports Sciences*, 34(16), 1491–1499. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1119301>
- Brown, S. A., Jiang, B., McElwee-Malloy, M., Wakeman, C., & Breton, M. D. (2015). Fluctuations of Hyperglycemia and Insulin Sensitivity Are Linked to Menstrual Cycle Phases in Women With T1D. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 9(6), 1192–1199. <https://doi.org/10.1177/1932296815608400>
- Bruseghini, P., Capelli, C., Calabria, E., Rossi, A. P., & Tam, E. (2019). Effects of High-Intensity Interval Training and Isoinertial Training on Leg Extensors Muscle Function, Structure, and Intermuscular Adipose Tissue in Older Adults. *Frontiers in Physiology*, 10, 1260. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01260>
- Buchheit, M., & Laursen, P. (2008). High-Intensity Interval Training, Solution to the Programming Puzzle P2. *Vasa*. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0066-5>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013a). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013b). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(10), 927–954. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0066-5>
- Burn, N., & Niven, A. (2019). Why do they do (h)it? Using self-determination theory to understand why people start and continue to do high-intensity interval training group

- exercise classes. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17(5), 537–551.
<https://doi.org/10.1080/1612197X.2017.1421682>
- Butalia, S., Kaplan, G. G., Khokhar, B., & Rabi, D. M. (2016). Environmental Risk Factors and Type 1 Diabetes: Past, Present, and Future. In *Canadian Journal of Diabetes* (Vol. 40, Issue 6, pp. 586–593). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2016.05.002>
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28(2), 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Cai, H., Li, G., Zhang, P., Xu, D., & Chen, L. (2017). Effect of exercise on the quality of life in type 2 diabetes mellitus: a systematic review. In *Quality of Life Research* (Vol. 26, Issue 3, pp. 515–530). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s11136-016-1481-5>
- Calvo, T. G., Cervelló, E., Jiménez, R., Iglesias, D., & Murcia, J. A. M. (2010). Using self-determination theory to explain sport persistence and dropout in adolescent athletes. *Spanish Journal of Psychology*, 13(2), 677–684.
<https://doi.org/10.1017/S1138741600002341>
- Camargo, M. R., Barela, J. A., Nozabiel, A. J. L., Mantovani, A. M., Martinelli, A. R., & Fregonesi, C. E. P. T. (2015). Balance and ankle muscle strength predict spatiotemporal gait parameters in individuals with diabetic peripheral neuropathy. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, 9(2), 79–84.
<https://doi.org/10.1016/j.dsx.2015.02.004>
- Cano-Pérez, J. F. (2011). Guía de la diabetes tipo 2. *Igarss 2014*, 39(1), 5,8.
<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Carlsson, S. (2019). Etiology and pathogenesis of latent autoimmune diabetes in adults

- (LADA) compared to type 2 diabetes. *Frontiers in Physiology*, 10(MAR).
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00320>
- Cassidy, S., Thoma, C., Houghton, D., & Trenell, M. I. (2017). High-intensity interval training: a review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. In *Diabetologia* (Vol. 60, Issue 1, pp. 7–23). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00125-016-4106-1>
- Castro, A. I., Gomez-Arbelaez, D., Crujeiras, A. B., Granero, R., Aguera, Z., Jimenez-Murcia, S., Sajoux, I., Lopez-Jaramillo, P., Fernandez-Aranda, F., & Casanueva, F. F. (2018). Effect of a very low-calorie ketogenic diet on food and alcohol cravings, physical and sexual activity, sleep disturbances, and quality of life in obese patients. *Nutrients*, 10(10).
<https://doi.org/10.3390/nu10101348>
- Celes, R., Bottaro, M., Cadore, E., Dullius, J., Schwartz, F., & Luzine, F. (2017). Low-load high-velocity resistance exercises improve strength and functional capacity in diabetic patients. *European Journal of Translational Myology*, 27(2).
<https://doi.org/10.4081/ejtm.2017.6292>
- Cerezo-Téllez, E., Torres-Lacomba, M., Mayoral-Del-Moral, O., Pacheco-Da-Costa, S., Prieto-Merino, D., & Sánchez-Sánchez, B. (2018). Health related quality of life improvement in chronic non-specific neck pain: Secondary analysis from a single blinded, randomized clinical trial. *Health and Quality of Life Outcomes*, 16(1).
<https://doi.org/10.1186/s12955-018-1032-6>
- Chimera, N. J., & Larson, M. (2020). Predicting Lower Quarter Y-Balance Test Performance From Foot Characteristics. *Journal of Sport Rehabilitation*, 1–6.
<https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0358>
- Cleophas, T. J., & Zwinderman, A. H. (2016). SPSS for starters and 2nd levelers. In *SPSS for*

- Starters and 2nd Levelers*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-20600-4>
- Clifford, A. M., & Holder-Powell, H. (2010). Postural control in healthy individuals. *Clinical Biomechanics*, 25(6), 546–551. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.03.005>
- Cockcroft, E. J., Narendran, P., & Andrews, R. C. (2019). Exercise induced hypoglycaemia in type 1 diabetes. *Experimental Physiology*, EP088219.
<https://doi.org/10.1113/EP088219>
- Codella, R., Terruzzi, I., & Luzi, L. (2017). Why should people with type 1 diabetes exercise regularly? *Acta Diabetologica*, 54(7), 615–630. <https://doi.org/10.1007/s00592-017-0978-x>
- Colberg, S. R., Laan, R., Dassau, E., & Kerr, D. (2015). Physical activity and type 1 diabetes: Time for a rewire? *Journal of Diabetes Science and Technology*, 9(3), 609–618.
<https://doi.org/10.1177/1932296814566231>
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., Horton, E. S., Castorino, K., & Tate, D. F. (2016). Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 39(11), 2065–2079. <https://doi.org/10.2337/dc16-1728>
- Conde Barreiro, S., Rodríguez Rigual, M., Bueno Lozano, G., López Siguero, J. P., González Pelegrín, B., Rodrigo Val, M. P., & Compés Dea, M. L. (2014). Epidemiology of type 1 diabetes mellitus in children in Spain. *Anales de Pediatría (Barcelona, Spain : 2003)*, 81(3), 189.e1-189.e12. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2013.12.010>
- Constantini, N. W., Dubnov, G., & Lebrun, C. M. (2005). The menstrual cycle and sport performance. In *Clinics in Sports Medicine* (Vol. 24, Issue 2). W.B. Saunders.
<https://doi.org/10.1016/j.csm.2005.01.003>

- Corbin, K. D., Driscoll, K. A., Pratley, R. E., Smith, S. R., Maahs, D. M., & Mayer-Davis, E. J. (2018). Obesity in type 1 diabetes: Pathophysiology, clinical impact, and mechanisms. In *Endocrine Reviews* (Vol. 39, Issue 5, pp. 629–663). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00191>
- 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. In *Sports Medicine* (Vol. 48, Issue 9, pp. 2127–2142). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0944-y>
- Costacou, T. (2017). The Epidemiology of Cardiovascular Disease in Adults with Type 1 Diabetes. *Current Diabetes Reviews*, 13(6), 520–527. <https://doi.org/10.2174/1573399812666160927122643>
- Cygankiewicz, I., & Zareba, W. (2013). Heart rate variability. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 117, Issue 0, pp. 379–393). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53491-0.00031-6>
- D’Silva, L. J., Lin, J., Staecker, H., Whitney, S. L., & Kluding, P. M. (2016). Impact of Diabetic Complications on Balance and Falls: Contribution of the Vestibular System. *Physical Therapy*, 96(3), 400–409. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140604>
- D’Silva, Linda J, Lin, J., Staecker, H., Whitney, S. L., & Kluding, P. M. (2016). Impact of Diabetic Complications on Balance and Falls: Contribution of the Vestibular System. *Physical Therapy*, 96(3), 400–409. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140604>
- Dall, T. M., Mann, S. E., Zhang, Y., Quick, W. W., Seifert, R. F., Martin, J., Huang, E. A., & Zhang, S. (2009). Distinguishing the economic costs associated with type 1 and type 2

- diabetes. *Population Health Management*, 12(2), 103–110.
<https://doi.org/10.1089/pop.2009.12203>
- De Ferranti, S. D., De Boer, I. H., Fonseca, V., Fox, C. S., Golden, S. H., Lavie, C. J., Magge, S. N., Marx, N., McGuire, D. K., Orchard, T. J., Zinman, B., & Eckel, R. H. (2014). Type 1 diabetes mellitus and cardiovascular disease a scientific statement from the american heart association and american diabetes association. *Circulation*, 130(13), 1110–1130.
<https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000034>
- De Nardi, A. T., Tolves, T., Lenzi, T. L., Signori, L. U., & Silva, A. M. V. da. (2018). High-intensity interval training versus continuous training on physiological and metabolic variables in prediabetes and type 2 diabetes: A meta-analysis. In *Diabetes Research and Clinical Practice* (Vol. 137, pp. 149–159). Elsevier Ireland Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.12.017>
- DeVries, J. H., Bailey, T. S., Bhargava, A., Gerety, G., Gumprecht, J., Heller, S., Lane, W., Wysham, C. H., Zinman, B., Bak, B. A., Hachmann-Nielsen, E., & Philis-Tsimikas, A. (2019). Day-to-day fasting self-monitored blood glucose variability is associated with risk of hypoglycaemia in insulin-treated patients with type 1 and type 2 diabetes: A post hoc analysis of the SWITCH Trials. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 21(3), 622–630.
<https://doi.org/10.1111/dom.13565>
- Diaz-Valencia, P. A., Bougnères, P., & Valleron, A.-J. (2015). Global epidemiology of type 1 diabetes in young adults and adults: a systematic review. *BMC Public Health*, 15(1), 255.
<https://doi.org/10.1186/s12889-015-1591-y>
- DiMeglio, L. A., Evans-Molina, C., & Oram, R. A. (2018). Type 1 diabetes. *Lancet (London, England)*, 391(10138), 2449–2462. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31320-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31320-5)
- Dolezal, B. A., Neufeld, E. V, Boland, D. M., Martin, J. L., & Cooper, C. B. (2017).

- Interrelationship between Sleep and Exercise: A Systematic Review. *Advances in Preventive Medicine*, 2017, 1364387. <https://doi.org/10.1155/2017/1364387>
- dos Santos Delabary, M., Komerovski, I. G., Monteiro, E. P., Costa, R. R., & Haas, A. N. (2018). Effects of dance practice on functional mobility, motor symptoms and quality of life in people with Parkinson's disease: a systematic review with meta-analysis. In *Aging Clinical and Experimental Research* (Vol. 30, Issue 7, pp. 727–735). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0836-2>
- Drescher, K. M., von Herrath, M., & Tracy, S. (2015). Enteroviruses, hygiene and type 1 diabetes: toward a preventive vaccine. *Reviews in Medical Virology*, 25(1), 19–32. <https://doi.org/10.1002/rmv.1815>
- Dugdill, L., Crone, D., & Murphy, R. (2009). *Physical Activity and Health Promotion: Evidence-based Approaches to Practice*. Wiley-Blackwell.
- Ellingsen, Ø., Halle, M., Conraads, V., Støylen, A., Dalen, H., Delagardelle, C., Larsen, A. I., Hole, T., Mezzani, A., Van Craenenbroeck, E. M., Videm, V., Beckers, P., Christle, J. W., Winzer, E., Mangner, N., Woitek, F., Höllriegel, R., Pressler, A., Monk-Hansen, T., ... Linke, A. (2017). High-Intensity Interval Training in Patients with Heart Failure with Reduced Ejection Fraction. *Circulation*, 135(9), 839–849. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.022924>
- Embrey, D. G., Holtz, S. L., Alon, G., Brandsma, B. A., & McCoy, S. W. (2010). Functional Electrical Stimulation to Dorsiflexors and Plantar Flexors During Gait to Improve Walking in Adults With Chronic Hemiplegia. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(5), 687–696. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.12.024>
- Engberg, E., Tikkanen, H. O., Koponen, A., Hägglund, H., Kukkonen-Harjula, K., Tiitinen, A., Peltonen, J. E., & Pöyhönen-Alho, M. (2018). Cardiorespiratory fitness and health-

- related quality of life in women at risk for gestational diabetes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(1), 203–211. <https://doi.org/10.1111/sms.12896>
- Farinha, J., Boff, W., dos Santos, G. C., Boeno, F. P., Ramis, T. R., Vieira, A. F., Macedo, R. C. O., Rodrigues-Krause, J., & Reischak-Oliveira, A. (2019). Acute glycemic responses along 10-week high-intensity training protocols in type 1 diabetes patients. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 153, 111–113. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.06.001>
- Farinha, J., Krause, M., Rodrigues-Krause, J., & Reischak-Oliveira, A. (2017). Exercise for type 1 diabetes mellitus management: General considerations and new directions. *Medical Hypotheses*, 104, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2017.05.033>
- Farinha, J., Ramis, T. R., Vieira, A. F., Macedo, R. C. O., Rodrigues-Krause, J., Boeno, F. P., Schroeder, H. T., Müller, C. H., Boff, W., Krause, M., De Bittencourt, P. I. H., & Reischak-Oliveira, A. (2018). Glycemic, inflammatory and oxidative stress responses to different high-intensity training protocols in type 1 diabetes: A randomized clinical trial. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 32(12), 1124–1132. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2018.09.008>
- Feldman, E. L., Callaghan, B. C., Pop-Busui, R., Zochodne, D. W., Wright, D. E., Bennett, D. L., Bril, V., Russell, J. W., & Viswanathan, V. (2019). Diabetic neuropathy. *Nature Reviews Disease Primers*, 5(1), 42. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0097-9>
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics using IBM SPSS Statistics*. Sage.
- Francia, P., Seghieri, G., Gulisano, M., De Bellis, A., Toni, S., Tedeschi, A., & Anichini, R. (2015). The role of joint mobility in evaluating and monitoring the risk of diabetic foot ulcer. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 108(3), 398–404. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2015.04.001>
- Francia, P., Toni, S., Iannone, G., Seghieri, G., Piccini, B., Vittori, A., Santosuosso, U., Casalini,

- E., & Gulisano, M. (2018). Type 1 diabetes, sport practiced, and ankle joint mobility in young patients: What is the relationship? *Pediatric Diabetes*, *19*(4), 801–808. <https://doi.org/10.1111/pedi.12643>
- Frost, D. M., Cronin, J., & Newton, R. U. (2010). A biomechanical evaluation of resistance: Fundamental concepts for training and sports performance. In *Sports Medicine* (Vol. 40, Issue 4, pp. 303–326). Sports Med. <https://doi.org/10.2165/11319420-000000000-00000>
- Fusco, A., Giancotti, G. F., Fuchs, P. X., Wagner, H., da Silva, R. A., & Cortis, C. (2020). Y balance test: Are we doing it right? *Journal of Science and Medicine in Sport*, *23*(2), 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.09.016>
- Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: Mechanisms and recommendations for training practices. In *Sports Medicine* (Vol. 36, Issue 2, pp. 133–149). Sports Med. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636020-00004>
- Galassetti, P., & Riddell, M. C. (2013). Exercise and type 1 diabetes (T1DM). *Comprehensive Physiology*, *3*(3), 1309–1336. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110040>
- Galilea-Zabalza, I., Buil-Cosiales, P., Salas-Salvadó, J., Toledo, E., Ortega-Azorín, C., Díez-Espino, J., Vázquez-Ruiz, Z., Zomeño, M. D., Vioque, J., Martínez, J. A., Romaguera, D., Perez-Farinos, N., López-Miranda, J., Estruch, R., Bueno-Cavanillas, A., Arós, F., Tur, J. A., Tinahones, F., Serra-Majem, L., ... Muñoz Bravo, C. (2018). Mediterranean diet and quality of life: Baseline cross-sectional analysis of the PREDIMED-PLUS trial. *PLoS ONE*, *13*(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198974>
- Gallen, I. W. (2014). Exercise for people with type 1 diabetes. *Medicine and Sport Science*, *60*, 141–153. <https://doi.org/10.1159/000357344>

- German Diabetes Association. (2014). Diabetes Mellitus: Classification and Diagnosis. In *Oxford Handbook of Clinical Medicine* (Vol. 9, pp. 198–205). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-18907-1.00038-X>
- Gibala, M. J., Gillen, J. B., & Percival, M. E. (2014). Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: influences of nutrition and sex. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *44 Suppl 2*, 127–137. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0259-6>
- Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., & Hawley, J. a. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of Physiology*, *590*(Pt 5), 1077–1084. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725>
- Gist, N. H., Freese, E. C., & Cureton, K. J. (2014). Comparison of responses to two high-intensity intermittent exercise protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(11), 3033–3040. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000522>
- Gomes-Neto, M., Durães, A. R., Reis, H. F. C. dos, Neves, V. R., Martinez, B. P., & Carvalho, V. O. (2017). High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on exercise capacity and quality of life in patients with coronary artery disease: A systematic review and meta-analysis. In *European Journal of Preventive Cardiology* (Vol. 24, Issue 16, pp. 1696–1707). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/2047487317728370>
- Gomes Neto, M., Durães, A. R., Conceição, L. S. R., Saquetto, M. B., Ellingsen, Ø., & Carvalho, V. O. (2018). High intensity interval training versus moderate intensity continuous training on exercise capacity and quality of life in patients with heart failure with reduced ejection fraction: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Cardiology*, *261*, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.02.076>

- González-Badillo, J. J., Marques, M. C., & Sánchez-Medina, L. (2011). The Importance of Movement Velocity as a Measure to Control Resistance Training Intensity. *Journal of Human Kinetics Special Issue*, 15–19. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0053-6>
- González-Cutre, D., Sicilia, Á., Sierra, A. C., Ferriz, R., & Hagger, M. S. (2016). Understanding the need for novelty from the perspective of self-determination theory. *Personality and Individual Differences*, 102, 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.06.036>
- Gribble, P. A., & Hertel, J. (2003). Considerations for normalizing measures of the Star Excursion Balance Test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 7(2), 89–100. https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0702_3
- Guelfi, K. J., Ratnam, N., Smythe, G. A., Jones, T. W., & Fournier, P. A. (2007). Effect of intermittent high-intensity compared with continuous moderate exercise on glucose production and utilization in individuals with type 1 diabetes. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 292(3). <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00533.2006>
- Guelfi, Kym J., Jones, T. W., & Fournier, P. A. (2005). The decline in blood glucose levels is less with intermittent high-intensity compared with moderate exercise in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 28(6), 1289–1294. <https://doi.org/10.2337/diacare.28.6.1289>
- Hall, E. A., & Docherty, C. L. (2017). Validity of clinical outcome measures to evaluate ankle range of motion during the weight-bearing lunge test. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(7), 618–621. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.001>
- Harmer, A. R., Chisholm, D. J., McKenna, M. J., Morris, N. R., Thom, J. M., Bennett, G., & Flack, J. R. (2007). High-intensity training improves plasma glucose and acid-base regulation during intermittent maximal exercise in type 1 diabetes. *Diabetes Care*,

30(5), 1269–1271. <https://doi.org/10.2337/dc06-1790>

Häyrynen, M., & Tarkka, I. M. (2016). Physical activity does not inevitably improve quality of life in young adults with type 1 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *121*, 99–101. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2016.09.010>

Heinrich, K. M., Patel, P. M., O'Neal, J. L., & Heinrich, B. S. (2014). High-intensity compared to moderate-intensity training for exercise initiation, enjoyment, adherence, and intentions: an intervention study. *BMC Public Health*, *14*, 789. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-789>

Heisz, J. J., Tejada, M. G. M., Paolucci, E. M., & Muir, C. (2016). Enjoyment for high-intensity interval exercise increases during the first six weeks of training: Implications for promoting exercise adherence in sedentary adults. *PLoS ONE*, *11*(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168534>

Herbert, P., Hayes, L. D., Sculthorpe, N. F., & Grace, F. M. (2017). HIIT produces increases in muscle power and free testosterone in male masters athletes. *Endocrine Connections*, *6*(7), 430–436. <https://doi.org/10.1530/EC-17-0159>

Hoch, M. C., Staton, G. S., & McKeon, P. O. (2011). Dorsiflexion range of motion significantly influences dynamic balance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *14*(1), 90–92. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.08.001>

Holliday, W., Theo, R., Fisher, J., & Swart, J. (2019). Cycling: joint kinematics and muscle activity during differing intensities. *Sports Biomechanics*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1640279>

Hussain, S. R., Macaluso, A., & Pearson, S. J. (2016). High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training in the prevention/management of cardiovascular disease. In *Cardiology in Review* (Vol. 24, Issue 6, pp. 273–281).

- Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/CRD.000000000000124>
- Insel, R., & Dunne, J. L. (2016). JDRF's vision and strategy for prevention of type 1 diabetes. In *Pediatric Diabetes* (Vol. 17, pp. 87–92). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/pedi.12326>
- International Diabetes Federation. (2019). ATLAS DE LA DIABETES DE LA FID, 9ª Edición. In www.diabetesatlas.org. International Diabetes Federation.
- Iscoe, K. E., & Riddell, M. C. (2011). Continuous moderate-intensity exercise with or without intermittent high-intensity work: Effects on acute and late glycaemia in athletes with Type1 diabetes mellitus. *Diabetic Medicine*, 28(7), 824–832. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2011.03274.x>
- Ito, S. (2019). High-intensity interval training for health benefits and care of cardiac diseases - The key to an efficient exercise protocol. *World Journal of Cardiology*, 11(7), 171–188. <https://doi.org/10.4330/wjc.v11.i7.171>
- Jacobs, P. G., & Reddy, R. (2020). Exercise, Sleep, and Type 1 Diabetes. In *Neurological Modulation of Sleep* (pp. 145–157). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816658-1.00015-6>
- Jarczok, M. N., Koenig, J., Wittling, A., Fischer, J. E., & Thayer, J. F. (2019). First Evaluation of an Index of Low Vagally-Mediated Heart Rate Variability as a Marker of Health Risks in Human Adults: Proof of Concept. *Journal of Clinical Medicine*, 8(11), 1940. <https://doi.org/10.3390/jcm8111940>
- Jelleyman, C., Yates, T., O'Donovan, G., Gray, L. J., King, J. A., Khunti, K., & Davies, M. J. (2015). The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity Reviews*, 16(11), 942–961. <https://doi.org/10.1111/obr.12317>

- Johnston, A. M., Johnson, S. G. B., Koven, M. L., Keil, F. C., Rossi, F. E., Schoenfeld, B. J., Očetnik, S., Young, J., Vigotsky, A., Contreras, B., Krieger, J. W., Miller, M. G., & Cholewa, J. (2016). Strength, body composition, and functional outcomes in the squat versus leg press exercises. - PubMed - NCBI. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, October*. <https://doi.org/10.1111/desc.12483>
- Jurado-Fasoli, L., De-la-O, A., Molina-Hidalgo, C., Migueles, J. H., Castillo, M. J., & Amaro-Gahete, F. J. (2020). Exercise training improves sleep quality: A randomized controlled trial. *European Journal of Clinical Investigation, 50*(3). <https://doi.org/10.1111/eci.13202>
- Kalaitzoglou, E., Popescu, I., Bunn, R. C., Fowlkes, J. L., & Thrailkill, K. M. (2016). Effects of Type 1 Diabetes on Osteoblasts, Osteocytes, and Osteoclasts. In *Current Osteoporosis Reports* (Vol. 14, Issue 6, pp. 310–319). Current Medicine Group LLC 1. <https://doi.org/10.1007/s11914-016-0329-9>
- Kaminsky, L. A., Arena, R., Ellingsen, Ø., Harber, M. P., Myers, J., Ozemek, C., & Ross, R. (2019). Cardiorespiratory fitness and cardiovascular disease - The past, present, and future. In *Progress in Cardiovascular Diseases* (Vol. 62, Issue 2, pp. 86–93). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2019.01.002>
- Kang, M. H., Lee, D. K., Park, K. H., & Oh, J. S. (2015). Association of ankle kinematics and performance on the Y-Balance test with inclinometer measurements on the weight-bearing-lunge test. *Journal of Sport Rehabilitation, 24*(1), 62–67. <https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0117>
- Katsarou, A., Gudbjörnsdóttir, S., Rawshani, A., Dabelea, D., Bonifacio, E., Anderson, B. J., Jacobsen, L. M., Schatz, D. A., & Lernmark, Å. (2017). Type 1 diabetes mellitus. *Nature Reviews. Disease Primers, 3*, 17016. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.16>

- Katsoulis, K., Stathokostas, L., & Amara, C. E. (2019). The effects of high- versus low-intensity power training on muscle power outcomes in healthy, older adults: A systematic review. *Journal of Aging and Physical Activity*, 27(3), 422–439. <https://doi.org/10.1123/japa.2018-0054>
- Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2017). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity Reviews : An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 18(8), 943–964. <https://doi.org/10.1111/obr.12536>
- Kennedy, A., Narendran, P., Andrews, R. C., Daley, A., & Greenfield, S. M. (2018). Attitudes and barriers to exercise in adults with a recent diagnosis of type 1 diabetes: A qualitative study of participants in the Exercise for Type 1 Diabetes (EXTOD) study. *BMJ Open*, 8(1). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-017813>
- Kiviniemi, A. M., Tulppo, M. P., Eskelinen, J. J., Savolainen, A. M., Kapanen, J., Heinonen, I. H. A., Hautala, A. J., Hannukainen, J. C., & Kalliokoski, K. K. (2015). Autonomic Function Predicts Fitness Response to Short-Term High-Intensity Interval Training. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 915–921. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1549854>
- Kiviniemi, Antti M., Tulppo, M. P., Eskelinen, J. J., Savolainen, A. M., Kapanen, J., Heinonen, I. H. A., Huikuri, H. V., Hannukainen, J. C., & Kalliokoski, K. K. (2014a). Cardiac autonomic function and high-intensity interval training in middle-age men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(10), 1960–1967. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000307>
- Kiviniemi, Antti M., Tulppo, M. P., Eskelinen, J. J., Savolainen, A. M., Kapanen, J., Heinonen, I. H. A., Huikuri, H. V., Hannukainen, J. C., & Kalliokoski, K. K. (2014b). Cardiac autonomic function and high-intensity interval training in middle-age men. *Medicine and Science in*

Sports and Exercise, 46(10), 1960–1967.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000307>

Klonoff, D. C., Parkes, J. L., Kovatchev, B. P., Kerr, D., Bevier, W. C., Brazg, R. L., Christiansen, M., Bailey, T. S., Nichols, J. H., & Kohn, M. A. (2018). Investigation of the accuracy of 18 marketed blood glucose monitors. *Diabetes Care*, 41(8), 1681–1688.
<https://doi.org/10.2337/dc17-1960>

Knip, M., Virtanen, S. M., Seppä, K., Ilonen, J., Savilahti, E., Vaarala, O., Reunanen, A., Teramo, K., Hämäläinen, A. M., Paronen, J., Dosch, H. M., Hakulinen, T., & Åkerblom, H. K. (2010). Dietary intervention in infancy and later signs of beta-cell autoimmunity. *New England Journal of Medicine*, 363(20), 1900–1908.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa1004809>

Kong, Z., Fan, X., Sun, S., Song, L., Shi, Q., & Nie, J. (2016). Comparison of high-intensity interval training and moderate-to-vigorous continuous training for cardiometabolic health and exercise enjoyment in obese young women: A randomized controlled trial. *PLoS ONE*, 11(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158589>

Kong, Z., Sun, S., Liu, M., & Shi, Q. (2016). Short-Term High-Intensity Interval Training on Body Composition and Blood Glucose in Overweight and Obese Young Women. *Journal of Diabetes Research*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/4073618>

Koolhaas, C. M., Dhana, K., Schoufour, J. D., Ikram, M. A., Kavousi, M., & Franco, O. H. (2017). Impact of physical activity on the association of overweight and obesity with cardiovascular disease: The Rotterdam Study. *European Journal of Preventive Cardiology*, 24(9), 934–941. <https://doi.org/10.1177/2047487317693952>

Kosik, K. B., Johnson, N. F., Terada, M., Thomas, A. C., Mattacola, C. G., & Gribble, P. A. (2019). Decreased dynamic balance and dorsiflexion range of motion in young and

- middle-aged adults with chronic ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.05.005>
- Krause, M. P., Riddell, M. C., & Hawke, T. J. (2011). Effects of type 1 diabetes mellitus on skeletal muscle: clinical observations and physiological mechanisms. *Pediatric Diabetes*, *12*(4 Pt 1), 345–364. <https://doi.org/10.1111/j.1399-5448.2010.00699.x>
- Kubota, Y., Chen, L. Y., Whitsel, E. A., & Folsom, A. R. (2017). Heart rate variability and lifetime risk of cardiovascular disease: the Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Annals of Epidemiology*, *27*(10), 619-625.e2. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2017.08.024>
- Kukidome, D., Nishikawa, T., Sato, M., Nishi, Y., Shimamura, R., Kawashima, J., Shimoda, S., Mizuta, H., & Araki, E. (2017). Impaired balance is related to the progression of diabetic complications in both young and older adults. *Journal of Diabetes and Its Complications*, *31*(8), 1275–1282. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.05.014>
- Lambert, G. W., & Esler, M. (2016). Role of the sympathetic nervous system in cardiovascular disease. In *Handbook of Psychocardiology* (pp. 747–758). https://doi.org/10.1007/978-981-287-206-7_36
- Langarika-Rocafort, A., Emparanza, J. I., Aramendi, J. F., Castellano, J., & Calleja-González, J. (2017). Intra-rater reliability and agreement of various methods of measurement to assess dorsiflexion in the Weight Bearing Dorsiflexion Lunge Test (WBLT) among female athletes. *Physical Therapy in Sport*, *23*, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.06.010>
- Langhammer, B., & Stanghelle, J. K. (2015). The Senior Fitness Test. In *Journal of Physiotherapy* (Vol. 61, Issue 3, p. 163). Australian Physiotherapy Association. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.04.001>

- Lascar, N., Kennedy, A., Hancock, B., Jenkins, D., Andrews, R. C., Greenfield, S., & Narendran, P. (2014). Attitudes and barriers to exercise in adults with type 1 diabetes (T1DM) and how best to address them: a qualitative study. *PloS One*, *9*(9), e108019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108019>
- Laugesen, E., Østergaard, J. A., & Leslie, R. D. G. (2015). Latent autoimmune diabetes of the adult: Current knowledge and uncertainty. In *Diabetic Medicine* (Vol. 32, Issue 7, pp. 843–852). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/dme.12700>
- Lee, A., Johnson, N., McGill, M., Overland, J., Luo, C., Baker, C., Martinez-Huenchullan, S., Wong, J., Flack, J., & Twigg, S. (2020). Effect of High-Intensity Interval Training on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes and Overweight or Obesity: A Randomized Controlled Trial With Partial Crossover. *Diabetes Care*, *43*(9), dc200342. <https://doi.org/10.2337/dc20-0342>
- Lee, S. K., & Ahn, S. H. (2018). Effects of balance evaluation comparison of dynamic balance and Y balance. *Journal of Exercise Rehabilitation*, *14*(6), 939–943. <https://doi.org/10.12965/jer.1836494.247>
- Lemelman, M. B., Letourneau, L., & Greeley, S. A. W. (2018). Neonatal Diabetes Mellitus: An Update on Diagnosis and Management. *Clinics in Perinatology*, *45*(1), 41–59. <https://doi.org/10.1016/j.clp.2017.10.006>
- Leroux, C., Brazeau, A.-S., Gingras, V., Desjardins, K., Strychar, I., & Rabasa-Lhoret, R. (2014). Lifestyle and cardiometabolic risk in adults with type 1 diabetes: a review. *Canadian Journal of Diabetes*, *38*(1), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2013.08.268>
- Levy, D. (2016). Type 1 Diabetes (Oxford Diabetes Library). *Oxford Medicine Online*, *1*(2). <https://doi.org/10.1093/med/9780198766452.001.0001>
- Linek, P., Sikora, D., Wolny, T., & Saulicz, E. (2017). Reliability and number of trials of Y

- Balance Test in adolescent athletes. *Musculoskeletal Science and Practice*, 31, 72–75.
<https://doi.org/10.1016/j.msksp.2017.03.011>
- Lippincott Williams & Wilkins. (2017). *Acsm guidelines + health related physical fitness assessment, 10th ed.* WOLTERS KLUWER.
- Lipski, M., Abbiss, C. R., & Nosaka, K. (2018). Oxygen consumption, rate of perceived exertion and enjoyment in high-intensity interval eccentric cycling. *European Journal of Sport Science*, 18(10), 1390–1397. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1498131>
- Ljungkrantz, M., Ludvigsson, J., & Samuelsson, U. (2008). Type 1 diabetes: increased height and weight gains in early childhood. *Pediatric Diabetes*, 9(3 Pt 2), 50–56.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-5448.2007.00360.x>
- López Chicharro, J., & Vicente Campos, D. (2018). *Hiit de la teoría a la práctica.*
- Loprinzi, P. D., & Pariser, G. (2013). Cardiorespiratory Fitness Levels and its Correlates Among Adults with Diabetes. *Cardiopulmonary Physical Therapy Journal*, 24(2), 27–34.
<https://doi.org/10.1097/01823246-201324020-00005>
- Maahs, D. M., West, N. A., Lawrence, J. M., & Mayer-Davis, E. J. (2010). Epidemiology of type 1 diabetes. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 39(3), 481–497.
<https://doi.org/10.1016/j.ecl.2010.05.011>
- Macartney, M. J., Notley, S. R., Herry, C. L., Seely, A. J. E., Sigal, R. J., & Kenny, G. P. (2020). Cardiac autonomic modulation in type 1 diabetes during exercise-heat stress. *Acta Diabetologica*, 57(8), 959–963. <https://doi.org/10.1007/s00592-020-01505-9>
- Madden, A. M., & Smith, S. (2016). Body composition and morphological assessment of nutritional status in adults: A review of anthropometric variables. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 29(1), 7–25. <https://doi.org/10.1111/jhn.12278>
- Maillard, F., Pereira, B., & Boisseau, N. (2018). Effect of High-Intensity Interval Training on

- Total, Abdominal and Visceral Fat Mass: A Meta-Analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 48, Issue 2, pp. 269–288). Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/s40279-017-0807-y>
- Malik, M. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065.
<https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Mallad, A., Hinshaw, L., Schiavon, M., Man, C. D., Dadlani, V., Basu, R., Lingineni, R., Cobelli, C., Johnson, M. L., Carter, R., Kudva, Y. C., & Basu, A. (2015). Exercise effects on postprandial glucose metabolism in type 1 diabetes: A triple-tracer approach. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 308(12), E1106–E1115.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.00014.2015>
- Mandviwala, T., Khalid, U., & Deswal, A. (2016). Obesity and Cardiovascular Disease: a Risk Factor or a Risk Marker? In *Current Atherosclerosis Reports* (Vol. 18, Issue 5). Current Medicine Group LLC 1. <https://doi.org/10.1007/s11883-016-0575-4>
- Maratova, K., Soucek, O., Matyskova, J., Hlavka, Z., Petruzelkova, L., Obermannova, B., Pruhova, S., Kolouskova, S., & Sumnik, Z. (2018). Muscle functions and bone strength are impaired in adolescents with type 1 diabetes. *Bone*, 106, 22–27.
<https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.10.005>
- Maric-Bilkan, C. (2017). Sex differences in micro- and macro-vascular complications of diabetes mellitus. *Clinical Science (London, England: 1979)*, 131(9), 833–846.
<https://doi.org/10.1042/CS20160998>
- Martinez, K., Frazer, S. F., Dempster, M., Hamill, A., Fleming, H., & McCorry, N. K. (2018). Psychological factors associated with diabetes self-management among adolescents with Type 1 diabetes: A systematic review. *Journal of Health Psychology*, 23(13), 1749–

1765. <https://doi.org/10.1177/1359105316669580>
- Martland, R., Mondelli, V., Gaughran, F., & Stubbs, B. (2019). Can high intensity interval training improve health outcomes among people with mental illness? A systematic review and preliminary meta-analysis of intervention studies across a range of mental illnesses. *Journal of Affective Disorders*. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.11.039>
- Martyn-Nemeth, P., Phillips, S. A., Mihailescu, D., Farabi, S. S., Park, C., Lipton, R., Idemudia, E., & Quinn, L. (2018). Poor sleep quality is associated with nocturnal glycaemic variability and fear of hypoglycaemia in adults with type 1 diabetes. *Journal of Advanced Nursing*, 74(10), 2373–2380. <https://doi.org/10.1111/jan.13765>
- Mauvais-Jarvis, F. (2015). Sex differences in metabolic homeostasis, diabetes, and obesity. *Biology of Sex Differences*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s13293-015-0033-y>
- Mayer-Davis, E. J., Bell, R. A., Dabelea, D., D'Agostino, R., Imperatore, G., Lawrence, J. M., Liu, L., & Marcovina, S. (2009, March). The many faces of diabetes in American youth: Type 1 and type 2 diabetes in five race and ethnic populations: the SEARCH for diabetes in youth study. *Diabetes Care*, 32(SUPPL. 2). <https://doi.org/10.2337/dc09-S201>
- McCarthy, O., Moser, O., Eckstein, M. L., Deere, R., Bain, S. C., Pitt, J., & Bracken, R. M. (2019). Resistance Isn't Futile: The Physiological Basis of the Health Effects of Resistance Exercise in Individuals With Type 1 Diabetes. *Frontiers in Endocrinology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00507>
- McCarty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart rate variability: New perspectives on physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk. In *Global Advances In Health and Medicine* (Vol. 4, Issue 1, pp. 46–61). GAHM LLC. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.073>
- McGinn, R., & Kenny, G. P. (2014). Autonomic dysfunction associated with Type 1 diabetes: a

- role for fitness? In *Clinical Autonomic Research* (Vol. 24, Issue 6, pp. 249–251). Dr. Dietrich Steinkopff Verlag GmbH and Co. KG. <https://doi.org/10.1007/s10286-014-0262-x>
- Medeiros, D. M., & Martini, T. F. (2018). Chronic effect of different types of stretching on ankle dorsiflexion range of motion: Systematic review and meta-analysis. In *Foot* (Vol. 34, pp. 28–35). Churchill Livingstone. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.09.006>
- Miele, E. M., & Headley, S. A. E. (2017). The Effects of Chronic Aerobic Exercise on Cardiovascular Risk Factors in Persons with Diabetes Mellitus. In *Current Diabetes Reports* (Vol. 17, Issue 10). Current Medicine Group LLC 1. <https://doi.org/10.1007/s11892-017-0927-7>
- Minnebeck, K., Vorona, E., Zinn, S., Gellner, R., Hinder, J., Brand, S.-M., Kabar, I., Alten, F., & Schmitz, B. (2020). Four weeks of high-intensity interval training (HIIT) improve the cardiometabolic risk profile of overweight patients with type 1 diabetes mellitus (T1DM). *European Journal of Sport Science*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1810782>
- Modi, A., Agrawal, A., & Morgan, F. (2016). Euglycemic Diabetic Ketoacidosis: A Review. *Current Diabetes Reviews*, 13(3), 315–321. <https://doi.org/10.2174/1573399812666160421121307>
- Monaco, C. M. F., Gingrich, M. A., & Hawke, T. J. (2019). Considering Type 1 Diabetes as a Form of Accelerated Muscle Aging. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 47(2), 98–107. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000184>
- Mongraw-Chaffin, M., LaCroix, A. Z., Sears, D. D., Garcia, L., Phillips, L. S., Salmoirago-Blotcher, E., Zaslavsky, O., & Anderson, C. A. M. (2017). A prospective study of low fasting glucose with cardiovascular disease events and all-cause mortality: The

- Women's Health Initiative. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 70, 116–124.
<https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.02.010>
- Moosavi, M., Séguin, J., & Polychronakos, C. (2017). Effect of autoimmunity risk loci on the honeymoon phase in type 1 diabetes. *Pediatric Diabetes*, 18(6), 459–462.
<https://doi.org/10.1111/pedi.12421>
- Moradi-Lakeh, M., Forouzanfar, M. H., El Bcheraoui, C., Daoud, F., Afshin, A., Hanson, S. W., Vos, T., Naghavi, M., Murray, C. J. L., Mokdad, A. H., & Global Burden of Disease Collaborators on Eastern Mediterranean Region and Diabetes. (2017). High Fasting Plasma Glucose, Diabetes, and Its Risk Factors in the Eastern Mediterranean Region, 1990-2013: Findings From the Global Burden of Disease Study 2013. *Diabetes Care*, 40(1), 22–29. <https://doi.org/10.2337/dc16-1075>
- Moraes-Silva, I. C., Rodrigues, B., Coelho-Junior, H. J., Feriani, D. J., & Irigoyen, M.-C. (2017). Myocardial Infarction and Exercise Training: Evidence from Basic Science. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 999, 139–153. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4307-9_9
- Moreno, J. A., & Cervelló, E. (2010). La motivación autodeterminada en la actividad física y el deporte: conceptualización. In *Motivación en la actividad física y el deporte* (pp. 1–28). Wanceulen.
- Moreno, J. A., González-Cutre, D., Martínez, C., Alonso, N., & López, M. (2008). Propiedades psicométricas de la Physical Activity Enjoyment Scale (PACES) en el contexto Español. *Estudios de Psicología*, 29(2), 173–180. <https://doi.org/10.1174/021093908784485093>
- Moreno Murcia, J. A. (2011). Teoría de la autodeterminación y adherencia al ejercicio físico. In *RICYDE: Revista Internacional de Ciencias del Deporte* (Vol. 7, Issue 25, pp. 248–249). Revista Internacional de Ciencias del Deporte. <https://doi.org/10.5232/ricyde2011.025>

- Moreno Murcia, J. A., Hernández Paños, A., & Gonzalez Cutre, D. (2009). Complementando la teoría de la autodeterminación con las metas sociales: Un estudio sobre la diversión en educación física. *Revista Mexicana de Psicología*, 26(2), 213–222.
- Moser, O., Tschakert, G., Mueller, A., Groeschl, W., Pieber, T. R., Obermayer-Pietsch, B., Koehler, G., & Hofmann, P. (2015). Effects of High-Intensity Interval Exercise versus Moderate Continuous Exercise on Glucose Homeostasis and Hormone Response in Patients with Type 1 Diabetes Mellitus Using Novel Ultra-Long-Acting Insulin. *PLoS One*, 10(8), e0136489. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136489>
- Mottalib, A., Kasetty, M., Mar, J. Y., Elseaidy, T., Ashrafzadeh, S., & Hamdy, O. (2017). Weight Management in Patients with Type 1 Diabetes and Obesity. In *Current Diabetes Reports* (Vol. 17, Issue 10). Current Medicine Group LLC 1. <https://doi.org/10.1007/s11892-017-0918-8>
- Muehlbauer, T., Gollhofer, A., & Granacher, U. (2015). Associations Between Measures of Balance and Lower-Extremity Muscle Strength/Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 45, Issue 12, pp. 1671–1692). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0390-z>
- Murcia, J. A. M., Gimeno, E. C., & Camacho, A. M. (2007). Measuring self-determination motivation in a physical fitness setting: Validation of the Behavioral Regulation in Exercise Questionnaire-2 (BREQ-2) in a Spanish sample. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(3), 366–374.
- Mutlu, E. K., Mutlu, C., Taskiran, H., & Ozgen, I. T. (2015). Association of physical activity level with depression, anxiety, and quality of life in children with type 1 diabetes mellitus. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 28(11–12), 1273–1278.

<https://doi.org/10.1515/jpem-2015-0082>

- Myer, G. D., Kushner, A. M., Brent, J. L., Schoenfeld, B. J., Hugentobler, J., Lloyd, R. S., Vermeil, A., Chu, D. A., Harbin, J., & McGill, S. M. (2014). The back squat: A proposed assessment of functional deficits and technical factors that limit performance. *Strength and Conditioning Journal*, 36(6), 4–27. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000103>
- Nakagawa, T. H., & Petersen, R. S. (2018). Relationship of hip and ankle range of motion, trunk muscle endurance with knee valgus and dynamic balance in males. *Physical Therapy in Sport*, 34, 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.10.006>
- Nazari, M., Shabani, R., & Dalili, S. (2020). The effect of concurrent resistance-aerobic training on serum cortisol level, anxiety, and quality of life in pediatric type 1 diabetes. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 0(0). <https://doi.org/10.1515/jpem-2019-0526>
- Nielsen, H. B., Ovesen, L. L., Mortensen, L. H., Lau, C. J., & Joensen, L. E. (2016). Type 1 diabetes, quality of life, occupational status and education level - A comparative population-based study. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 121, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2016.08.021>
- Nieman, D. C., Austin, M. D., Dew, D., & Utter, A. C. (2013). Validity of COSMED's quark CPET mixing chamber system in evaluating energy metabolism during aerobic exercise in healthy male adults. *Research in Sports Medicine*, 21(2), 136–145. <https://doi.org/10.1080/15438627.2012.757227>
- Nyenwe, E. A., & Kitabchi, A. E. (2016). The evolution of diabetic ketoacidosis: An update of its etiology, pathogenesis and management. In *Metabolism: Clinical and Experimental* (Vol. 65, Issue 4, pp. 507–521). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2015.12.007>

- O'Driscoll, J. M., Wright, S. M., Taylor, K. A., Coleman, D. A., Sharma, R., & Wiles, J. D. (2018). Cardiac autonomic and left ventricular mechanics following high intensity interval training: A randomized crossover controlled study. *Journal of Applied Physiology*, *125*(4), 1030–1040. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00056.2018>
- Oliveira, B. R. R., Santos, T. M., Kilpatrick, M., Pires, F. O., & Deslandes, A. C. (2018). Affective and enjoyment responses in high intensity interval training and continuous training: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, *13*(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197124>
- OMS. (2016). OMS | Informe mundial sobre la diabetes. OMS.
- Ostman, C, Jewiss, D., King, N., & Smart, N. A. (2018). Clinical outcomes to exercise training in type 1 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *139*, 380–391. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.11.036>
- Ostman, Cecilia, Jewiss, D., & Smart, N. A. (2017). The Effect of Exercise Training Intensity on Quality of Life in Heart Failure Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cardiology (Switzerland)*, *136*(2), 79–89. <https://doi.org/10.1159/000448088>
- Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., & Morán-Navarro, R. (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *European Journal of Sport Science*, *20*(1), 115–124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>
- Park, C., Guallar, E., Linton, J. A., Lee, D. C., Jang, Y., Son, D. K., Han, E. J., Baek, S. J., Yun, Y. D., Jee, S. H., & Samet, J. M. (2013). Fasting glucose level and the risk of incident atherosclerotic cardiovascular diseases. *Diabetes Care*, *36*(7), 1988–1993. <https://doi.org/10.2337/dc12-1577>
- Patterson, R., McNamara, E., Tainio, M., de Sá, T. H., Smith, A. D., Sharp, S. J., Edwards, P.,

- Woodcock, J., Brage, S., & Wijndaele, K. (2018). Sedentary behaviour and risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and incident type 2 diabetes: a systematic review and dose response meta-analysis. In *European Journal of Epidemiology* (Vol. 33, Issue 9, pp. 811–829). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10654-018-0380-1>
- Pedersen, B. K., & Saltin, B. (2015). Exercise as medicine - Evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25, 1–72. <https://doi.org/10.1111/sms.12581>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1258–1265. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003118>
- Perez, K. M., Hamburger, E. R., Lyttle, M., Williams, R., Bergner, E., Kahanda, S., Cobry, E., & Jaser, S. S. (2018). Sleep in Type 1 Diabetes: Implications for Glycemic Control and Diabetes Management. In *Current Diabetes Reports* (Vol. 18, Issue 2). Current Medicine Group LLC 1. <https://doi.org/10.1007/s11892-018-0974-8>
- Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the Elite HRV Smartphone Application for Examining Heart Rate Variability in a Field-Based Setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2296–2302. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001841>
- Petersmann, A., Nauck, M., Müller-Wieland, D., Kerner, W., Müller, U. A., Landgraf, R., Freckmann, G., & Heinemann, L. (2018). Definition, Classification and Diagnosis of Diabetes Mellitus. *Experimental and Clinical Endocrinology and Diabetes*, 126(7), 406–

410. <https://doi.org/10.1055/a-0584-6223>

Philips, J. C., & Radermecker, R. P. (2012). Le diabete de type 1: De la prédisposition génétique à un contexte environnemental hypothétique. In *Revue Medicale de Liege* (Vol. 67, Issues 5–6, pp. 319–325).

Piras, A., Persiani, M., Damiani, N., Perazzolo, M., & Raffi, M. (2015). Peripheral heart action (PHA) training as a valid substitute to high intensity interval training to improve resting cardiovascular changes and autonomic adaptation. *European Journal of Applied Physiology*, 115(4), 763–773. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3057-9>

Plisky, P. J., Gorman, P. P., Butler, R. J., Kiesel, K. B., Underwood, F. B., & Elkins, B. (2009). The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, 4(2), 92–99.

Powden, C. J., Dodds, T. K., & Gabriel, E. H. (2019). THE RELIABILITY OF THE STAR EXCURSION BALANCE TEST AND LOWER QUARTER Y-BALANCE TEST IN HEALTHY ADULTS: A SYSTEMATIC REVIEW. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(5), 683–694. <https://doi.org/10.26603/ijspt20190683>

Rabin, A., Kozol, Z., Spitzer, E., & Finestone, A. S. (2015). Weight-bearing ankle dorsiflexion range of motion-can side-to-side symmetry be assumed? *Journal of Athletic Training*, 50(1), 30–35. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.40>

Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Borrani, F., Beetham, K. S., Mielke, G. I., Dias, K. A., Wallen, M. P., Keating, S. E., Fassett, R. G., & Coombes, J. S. (2017). High-intensity interval training and cardiac autonomic control in individuals with metabolic syndrome: A randomised trial. *International Journal of Cardiology*, 245, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.07.063>

- Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Borrani, F., Beetham, K. S., Wallen, M. P., Mallard, A. R., Clark, B., Gomersall, S., Keating, S. E., Fassett, R. G., & Coombes, J. S. (2017). Low-Volume High-Intensity Interval Training Is Sufficient to Ameliorate the Severity of Metabolic Syndrome. In *Metabolic Syndrome and Related Disorders* (Vol. 15, Issue 7, pp. 319–328). Mary Ann Liebert Inc. <https://doi.org/10.1089/met.2017.0042>
- 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. In *Sports Medicine* (Vol. 45, Issue 5, pp. 679–692). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0321-z>
- Rao, S. R., Saltzman, C. L., Wilken, J., & Yak, H. J. (2006). Increased passive ankle stiffness and reduced dorsiflexion range of motion in individuals with diabetes mellitus. *Foot and Ankle International*, 27(8), 617–622. <https://doi.org/10.1177/107110070602700809>
- Reddy, R., El Youssef, J., Winters-Stone, K., Branigan, D., Leitschuh, J., Castle, J., & Jacobs, P. G. (2018). The effect of exercise on sleep in adults with type 1 diabetes. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 20(2), 443–447. <https://doi.org/10.1111/dom.13065>
- Reutrakul, S., Thakkinstian, A., Anothaisintawee, T., Chontong, S., Borel, A.-L., Perfect, M. M., Janovsky, C. C. P. S., Kessler, R., Schultes, B., Harsch, I. A., van Dijk, M., Bouhassira, D., Matejko, B., Lipton, R. B., Suwannalai, P., Chirakalwasan, N., Schober, A.-K., & Knutson, K. L. (2016). Sleep characteristics in type 1 diabetes and associations with glycemic control: systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine*, 23, 26–45. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.03.019>
- Rewers, M., & Ludvigsson, J. (2016). Environmental risk factors for type 1 diabetes. In *The Lancet* (Vol. 387, Issue 10035, pp. 2340–2348). Lancet Publishing Group.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30507-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30507-4)

Ribeiro, P. A. B., Boidin, M., Juneau, M., Nigam, A., & Gayda, M. (2017). High-intensity interval training in patients with coronary heart disease: Prescription models and perspectives. In *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* (Vol. 60, Issue 1, pp. 50–57). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.04.004>

Ricordi, C., Clare-Salzler, M., Infante, M., Baggerly, C., Aliano, J., McDonnell, S., & Chritton, S. (2019). Vitamin D and Omega 3 Field Study on Progression of Type 1 Diabetes. *CellR4--Repair, Replacement, Regeneration, & Reprogramming*, 7. https://doi.org/10.32113/cellr4_20198_2737

Riddell, M. C., Gallen, I. W., Smart, C. E., Taplin, C. E., Adolfsson, P., Lumb, A. N., Kowalski, A., Rabasa-Lhoret, R., McCrimmon, R. J., Hume, C., Annan, F., Fournier, P. A., Graham, C., Bode, B., Galassetti, P., Jones, T. W., Millán, I. S., Heise, T., Peters, A. L., ... Laffel, L. M. (2017). Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *The Lancet. Diabetes & Endocrinology*, 5(5), 377–390. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30014-1](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30014-1)

Riddell, M. C., Pooni, R., Yavelberg, L., Li, Z., Kollman, C., Brown, R. E., Li, A., & Aronson, R. (2019). Reproducibility in the cardiometabolic responses to high-intensity interval exercise in adults with type 1 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 148, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.01.003>

Riebe, D., Franklin, B. A., Thompson, P. D., Garber, C. E., Whitfield, G. P., Magal, M., & Pescatello, L. S. (2015). Updating ACSM's recommendations for exercise preparticipation health screening. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(11), 2473–2479. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000664>

Rissanen, A.-P. E., Tikkanen, H. O., Koponen, A. S., Aho, J. M., & Peltonen, J. E. (2015).

- Central and peripheral cardiovascular impairments limit VO₂(peak) in type 1 diabetes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(2), 223–230. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000419>
- Rojo-Martínez, G., Valdés, S., Soriguer, F., Vendrell, J., Urrutia, I., Pérez, V., Ortega, E., Ocón, P., Montanya, E., Menéndez, E., Lago-Sampedro, A., González- Frutos, T., Gomis, R., Goday, A., García-Serrano, S., García-Escobar, E., Galán-García, J. L., Castell, C., Badía-Guillén, R., ... Calle-Pascual, A. (2020). Incidence of diabetes mellitus in Spain as results of the nation-wide cohort di@bet.es study. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59643-7>
- Romero-Moraleda, B., Coso, J. Del, Gutiérrez-Hellín, J., Ruiz-Moreno, C., Grgic, J., & Lara, B. (2019). The influence of the menstrual cycle on muscle strength and power performance. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 123–133. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0061>
- Rosdahl, H., Lindberg, T., Edin, F., & Nilsson, J. (2013). The Moxus Modular metabolic system evaluated with two sensors for ventilation against the Douglas bag method. *European Journal of Applied Physiology*, 113(5), 1353–1367. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2551-1>
- Ross, L. M., Porter, R. R., & Durstine, J. L. (2016). High-intensity interval training (HIIT) for patients with chronic diseases. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 5, Issue 2, pp. 139–144). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.04.005>
- Roy, M., Williams, S. M., Brown, R. C., Meredith-Jones, K. A., Osborne, H., Jospe, M., & Taylor, R. W. (2018). High-Intensity Interval Training in the Real World: Outcomes from a 12-Month Intervention in Overweight Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(9), 1818–1826. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001642>

- Ruffino, J. S., Songsorn, P., Haggett, M., Edmonds, D., Robinson, A. M., Thompson, D., & Volvaard, N. B. J. (2017). A comparison of the health benefits of reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT) and moderate-intensity walking in type 2 diabetes patients. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 42(2), 202–208. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0497>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
- S. Delevatti, R., Schuch, F. B., Kanitz, A. C., Alberton, C. L., Marson, E. C., Lisboa, S. C., Pinho, C. D. F., Bregagnol, L. P., Becker, M. T., & Kruel, L. F. M. (2018). Quality of life and sleep quality are similarly improved after aquatic or dry-land aerobic training in patients with type 2 diabetes: A randomized clinical trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(5), 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.08.024>
- Sadeghi, H., Allard, P., Prince, F., & Labelle, H. (2000). Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: A review. In *Gait and Posture* (Vol. 12, Issue 1, pp. 34–45). Gait Posture. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00070-9)
- Sassi, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Malik, M., Huikuri, H. V., Peng, C. K., Schmidt, G., & Yamamoto, Y. (2015). Advances in heart rate variability signal analysis: Joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Europace*, 17(9), 1341–1353. <https://doi.org/10.1093/europace/euv015>
- Schofield, J., Ho, J., & Soran, H. (2019). Cardiovascular Risk in Type 1 Diabetes Mellitus. In *Diabetes Therapy* (Vol. 10, Issue 3, pp. 773–789). Springer Healthcare. <https://doi.org/10.1007/s13300-019-0612-8>

- Scott, S. N., Cocks, M., Andrews, R. C., Narendran, P., Purewal, T. S., Cuthbertson, D. J., Wagenmakers, A. J. M., & Shepherd, S. O. (2018). High-Intensity Interval Training Improves Aerobic Capacity Without a Detrimental Decline in Blood Glucose in People with Type 1 Diabetes. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *104*(2), 604–612. <https://doi.org/10.1210/jc.2018-01309>
- Scott, S. N., Cocks, M., Andrews, R. C., Narendran, P., Purewal, T. S., Cuthbertson, D. J., Wagenmakers, A. J. M., & Shepherd, S. O. (2019). Fasted high-intensity interval and moderate-intensity exercise do not lead to detrimental 24-hour blood glucose profiles. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *104*(1), 111–117. <https://doi.org/10.1210/jc.2018-01308>
- Scott, S. N., Shepherd, S. O., Andrews, R. C., Narendran, P., Purewal, T. S., Kinnafick, F., Cuthbertson, D. J., Atkinson-Goulding, S., Noon, T., Wagenmakers, A. J. M., & Cocks, M. (2019). A Multidisciplinary Evaluation of a Virtually Supervised Home-Based High-Intensity Interval Training Intervention in People With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care*, dc190871. <https://doi.org/10.2337/dc19-0871>
- Scott, S. N., Shepherd, S. O., Strauss, J. A., Wagenmakers, A. J. M., & Cocks, M. (2019). Home-based high-intensity interval training reduces barriers to exercise in people with type 1 diabetes. *Experimental Physiology*. <https://doi.org/10.1113/EP088097>
- Sculthorpe, N. F., Herbert, P., & Grace, F. (2017). One session of high-intensity interval training (HIIT) every 5 days, improves muscle power but not static balance in lifelong sedentary ageing men. *Medicine*, *96*(6), e6040. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000006040>
- Searle, A., Spink, M. J., & Chuter, V. H. (2018). Weight bearing versus non-weight bearing ankle dorsiflexion measurement in people with diabetes: A cross sectional study. *BMC*

- Musculoskeletal Disorders*, 19(1), 183. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2113-8>
- Searle, A., Spink, M. J., Ho, A., & Chuter, V. H. (2017). Association between ankle equinus and plantar pressures in people with diabetes. A systematic review and meta-analysis. In *Clinical Biomechanics* (Vol. 43, pp. 8–14). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.01.021>
- Shah, K. C., Peehal, J. P., Shah, A., Crank, S., & Flora, H. S. (2017). Star excursion balance test for assessment of dynamic instability of the ankle in patients after harvest of a fibular free flap: a two-centre study. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 55(3), 256–259. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2016.11.007>
- Shimada, H., Obuchi, S., Kamide, N., Shiba, Y., Okamoto, M., & Kakurai, S. (2003). Relationship with dynamic balance function during standing and walking. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 82(7), 511–516. <https://doi.org/10.1097/01.PHM.0000064726.59036.CB>
- Siljander, H., Honkanen, J., & Knip, M. (2019). Microbiome and type 1 diabetes. In *EBioMedicine*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.06.031>
- Silva, A. K. F. da, Christofaro, D. G. D., Bernardo, A. F. B., Vanderlei, F. M., & Vanderlei, L. C. M. (2017). Sensitivity, Specificity and Predictive Value of Heart Rate Variability Indices in Type 1 Diabetes Mellitus. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 108(3), 255–262. <https://doi.org/10.5935/abc.20170024>
- Silverthorn, A. (2013). Fisiología humana: un enfoque integrado. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). MEDICA PANAMERICANA.
- Smith-Ryan, A. E., Trexler, E. T., Wingfield, H. L., & Blue, M. N. M. (2016). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic risk factors in overweight/obese women. *Journal of Sports Sciences*, 34(21), 2038–2046.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1149609>

Sorota, S. (2014). The Sympathetic Nervous System as a Target for the Treatment of Hypertension and Cardiometabolic Diseases. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 63(5), 466–476. <https://doi.org/10.1097/FJC.0000000000000064>

Stavrinou, P. S., Bogdanis, G. C., Giannaki, C. D., Terzis, G., & Hadjicharalambous, M. (2018). High-intensity Interval Training Frequency: Cardiometabolic Effects and Quality of Life. *International Journal of Sports Medicine*, 39(3), 210–217. <https://doi.org/10.1055/s-0043-125074>

Steven, S., Frenis, K., Oelze, M., Kalinovic, S., Kuntic, M., Jimenez, M. T. B., Vujacic-Mirski, K., Helmstädter, J., Kröller-Schön, S., Münzel, T., & Daiber, A. (2019). Vascular inflammation and oxidative stress: Major triggers for cardiovascular disease. In *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* (Vol. 2019). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2019/7092151>

Streisand, R., & Monaghan, M. (2014). Young children with type 1 diabetes: Challenges, research, and future directions. In *Current Diabetes Reports* (Vol. 14, Issue 9). Current Medicine Group LLC 1. <https://doi.org/10.1007/s11892-014-0520-2>

Stumvoll, M., Goldstein, B. J., & Van Haeften, T. W. (2005). Type 2 diabetes: Principles of pathogenesis and therapy. *Lancet*, 365(9467), 1333–1346. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)61032-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)61032-X)

Sultana, R. N., Sabag, A., Keating, S. E., & Johnson, N. A. (2019). The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 49, Issue 11, pp. 1687–1721). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01167-w>

Suryavanshi, P., Kumar, A., Kulkarni, P., & Patel, P. (2015). CORRELATION OF ANKLE

DORSIFLEXION RANGE OF MOTION WITH DYNAMIC BALANCE IN YOUNG NORMAL INDIVIDUALS. *Int J Physiother Res*, 3(4), 1184–1187. <https://doi.org/10.16965/ijpr.2015.166>

Sweegers, M. G., Altenburg, T. M., Chinapaw, M. J., Kalter, J., Verdonck-De Leeuw, I. M., Courneya, K. S., Newton, R. U., Aaronson, N. K., Jacobsen, P. B., Brug, J., & Buffart, L. M. (2018). Which exercise prescriptions improve quality of life and physical function in patients with cancer during and following treatment? A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 52, Issue 8, pp. 505–513). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097891>

Swift, D. L., Johannsen, N. M., Lavie, C. J., Earnest, C. P., & Church, T. S. (2014). The role of exercise and physical activity in weight loss and maintenance. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 56(4), 441–447. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2013.09.012>

Taralov, Z. Z., Terziyski, K. V., & Kostianev, S. S. (2015). Heart Rate Variability as a Method for Assessment of the Autonomic Nervous System and the Adaptations to Different Physiological and Pathological Conditions. *Folia Medica*, 57(3–4), 173–180. <https://doi.org/10.1515/folmed-2015-0036>

Tébar Massó, F. J., & Escobar Jiménez, F. (2014). *La diabetes en la práctica clínica*. Editorial Médica Panamericana.

Terada, M., Pietrosimone, B. G., & Gribble, P. A. (2013). Therapeutic interventions for increasing ankle dorsiflexion after ankle sprain: A systematic review. *Journal of Athletic Training*, 48(5), 696–709. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.4.11>

Teyhen, D. S., Shaffer, S. W., Lorenson, C. L., Greenberg, M. D., Rogers, S. M., Koreerat, C. M., Villena, S. L., Zosel, K. L., Walker, M. J., & Childs, J. C. (2014). Clinical measures

- associated with dynamic balance and functional movement. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1272–1283.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000272>
- Thayer, J. F., Yamamoto, S. S., & Brosschot, J. F. (2010). The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International Journal of Cardiology*, 141(2), 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2009.09.543>
- Thompson, W. R. (2019). WORLDWIDE SURVEY OF FITNESS TRENDS FOR 2020. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 23(6), 10–18. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000526>
- Thum, J. S., Parsons, G., Whittle, T., & Astorino, T. A. (2017). High-intensity interval training elicits higher enjoyment than moderate intensity continuous exercise. *PLoS ONE*, 12(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166299>
- Tonoli, C., Heyman, E., Roelands, B., Buyse, L., Cheung, S. S., Berthoin, S., & Meeusen, R. (2012). Effects of different types of acute and chronic (training) exercise on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus: A meta-analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 42, Issue 12, pp. 1059–1080). <https://doi.org/10.2165/11635380-000000000-00000>
- Trout, K. K., Rickels, M. R., Schutta, M. H., Petrova, M., Freeman, E. W., Tkacs, N. C., & Teff, K. L. (2007). Menstrual Cycle Effects on Insulin Sensitivity in Women with Type 1 Diabetes: A Pilot Study. *Diabetes Technology & Therapeutics*, 9(2), 176–182. <https://doi.org/10.1089/dia.2006.0004>
- Tsekouras, Y. E., Tambalis, K. D., Sarras, S. E., Antoniou, A. K., Kokkinos, P., & Sidossis, L. S. (2019). Validity and Reliability of the New Portable Metabolic Analyzer PNOE. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1, 24. <https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00024>
- Tsioufis, C., & Dimitriadis, K. (2019). Sympathetic system-related artery stiffness: Understanding the gordian knot of vascular ageing. In *Hypertension* (Vol. 73, Issue 5,

pp. 975–976). Lippincott Williams and Wilkins.

<https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.12571>

Turcot, K., Allet, L., Golay, A., Hoffmeyer, P., & Armand, S. (2009). Investigation of standing balance in diabetic patients with and without peripheral neuropathy using accelerometers. *Clinical Biomechanics*, 24(9), 716–721. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.07.003>

Turner, D., Luzio, S., Gray, B. J., Dunseath, G., Rees, E. D., Kilduff, L. P., Campbell, M. D., West, D. J., Bain, S. C., & Bracken, R. M. (2015). Impact of single and multiple sets of resistance exercise in type 1 diabetes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(1), e99–e109. <https://doi.org/10.1111/sms.12202>

Turner, G., Quigg, S., Davoren, P., Basile, R., McAuley, S. A., & Coombes, J. S. (2019). Resources to Guide Exercise Specialists Managing Adults with Diabetes. In *Sports Medicine - Open* (Vol. 5, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0192-1>

Vella, C. A., Taylor, K., & Drummer, D. (2017). High-intensity interval and moderate-intensity continuous training elicit similar enjoyment and adherence levels in overweight and obese adults. *European Journal of Sport Science*, 17(9), 1203–1211. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1359679>

Verney, J., Schwartz, C., Amiche, S., Pereira, B., & Thivel, D. (2015). Comparisons of a Multi-Frequency Bioelectrical Impedance Analysis to the Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Scan in Healthy Young Adults Depending on their Physical Activity Level. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 73–80. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0063>

Volaklis, K. A., Halle, M., & Meisinger, C. (2015). Muscular strength as a strong predictor of mortality: A narrative review. In *European Journal of Internal Medicine* (Vol. 26, Issue 5, pp. 303–310). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2015.04.013>

- Voulgari, C., Pagoni, S., Vinik, A., & Poirier, P. (2013). Exercise improves cardiac autonomic function in obesity and diabetes. In *Metabolism: Clinical and Experimental* (Vol. 62, Issue 5, pp. 609–621). <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.09.005>
- Waddell, M. L., Fine, J. M., Likens, A. D., Amazeen, E. L., & Amazeen, P. G. (2016). Perceived heaviness in the context of Newton's second law: Combined effects of muscle activity and lifting kinematics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(3), 363–374. <https://doi.org/10.1037/xhp0000151>
- Ware, J. E., & Gandek, B. (1998). Overview of the SF-36 Health Survey and the International Quality of Life Assessment (IQOLA) Project. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(11), 903–912. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(98\)00081-X](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(98)00081-X)
- Wegeberg, A.-M. L., Meldgaard, T., Hyldahl, S., Jakobsen, P. E., Drewes, A. M., Brock, B., & Brock, C. (2019). Quantities of comorbidities affects physical, but not mental health related quality of life in type 1 diabetes with confirmed polyneuropathy. *World Journal of Diabetes*, 10(2), 87–95. <https://doi.org/10.4239/wjd.v10.i2.87>
- Weston, K. S., Wisløff, U., & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: A systematic review and meta-analysis. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 48, Issue 16, pp. 1227–1234). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092576>
- Wewege, M., van den Berg, R., Ward, R. E., & Keech, A. (2017). The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. In *Obesity Reviews* (Vol. 18, Issue 6, pp. 635–646). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/obr.12532>
- Wilkins, L. W. (2017). *Acsm Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 10th Ed. +*

ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment, 5th Ed. LIPPINCOTT RAVEN.

- Williams, C. J., Williams, M. G., Eynon, N., Ashton, K. J., Little, J. P., Wisloff, U., & Coombes, J. S. (2017). Genes to predict VO₂max trainability: A systematic review. In *BMC Genomics* (Vol. 18). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4192-6>
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2007). *FISIOLOGÍA DEL ESFUERZO Y DEL DEPORTE*. Editorial Paidotribo.
- Wilson, L. C., Peebles, K. C., Hoyer, N. A., Manning, P., Sheat, C., Williams, M. J. A., Wilkins, G. T., Wilson, G. A., & Baldi, J. C. (2017). Resting heart rate variability and exercise capacity in Type 1 diabetes. *Physiological Reports*, 5(8). <https://doi.org/10.14814/phy2.13248>
- World Health Organization. (2010). Recomendaciones Mundiales sobre Actividad Física para la Salud. *Geneva: WHO Library Cataloguing-in-Publication, Completo*, 1–58. https://doi.org/978_92_4_359997_7
- Wormgoor, S. G., Dalleck, L. C., Zinn, C., & Harris, N. K. (2017). Effects of High-Intensity Interval Training on People Living with Type 2 Diabetes: A Narrative Review. *Canadian Journal of Diabetes*, 41(5), 536–547. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2016.12.004>
- Wróbel, M., Rokicka, D., Czuba, M., Gołaś, A., Pyka, Ł., Greif, M., Szymborska-Kajane, A., Strojek, K., & Gąsior, M. (2018). Aerobic as well as resistance exercises are good for patients with type 1 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 144, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2018.08.008>
- Wu, Y.-L., Ding, Y.-P., Gao, J., Tanaka, Y., & Zhang, W. (2013). Risk factors and primary prevention trials for type 1 diabetes. *International Journal of Biological Sciences*, 9(7), 666–679. <https://doi.org/10.7150/ijbs.6610>
- Yardley, J. E., Hay, J., Abou-Setta, A. M., Marks, S. D., & McGavock, J. (2014). A systematic review and meta-analysis of exercise interventions in adults with type 1 diabetes.

Diabetes Research and Clinical Practice, 106(3), 393–400.

<https://doi.org/10.1016/j.diabres.2014.09.038>

Yardley, J. E., Kenny, G. P., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Balaa, N., Malcolm, J., Boulay, P., Khandwala, F., & Sigal, R. J. (2013). Resistance versus aerobic exercise. *Diabetes Care*, 36(3), 537–542. <https://doi.org/10.2337/dc12-0963>

Yardley, J. E., & Sigal, R. J. (2015). Exercise strategies for hypoglycemia prevention in individuals with type 1 diabetes. In *Diabetes Spectrum* (Vol. 28, Issue 1, pp. 32–38). American Diabetes Association Inc. <https://doi.org/10.2337/diaspect.28.1.32>

Yardley, J. E., Sigal, R. J., Perkins, B. A., Riddell, M. C., & Kenny, G. P. (2013). Resistance exercise in type 1 diabetes. In *Canadian Journal of Diabetes* (Vol. 37, Issue 6, pp. 420–426). <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2013.07.020>

Yeh, T.-L., Chen, H.-H., Tsai, S.-Y., Lin, C.-Y., Liu, S.-J., & Chien, K.-L. (2019). The Relationship between Metabolically Healthy Obesity and the Risk of Cardiovascular Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 8(8), 1228. <https://doi.org/10.3390/jcm8081228>

Zamunér, A. R., Moreno, M. A., Camargo, T. M., Graetz, J. P., Rebelo, A. C. S., Tamburús, N. Y., & da Silva, E. (2011). Assessment of subjective perceived exertion at the anaerobic threshold with the Borg CR-10 scale. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(1), 130–136.

Zhelyazkov, T. (2001). *Bases Del Entrenamiento Deportivo*. PAIDOTRIBO.

Zhou, J., Kim, J. E., Armstrong, C. L. H., Chen, N., & Campbell, W. W. (2016). Higher-protein diets improve indexes of sleep in energy-restricted overweight and obese adults: Results from 2 randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 103(3), 766–774. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.124669>

- Zhukouskaya, V. V., Eller-Vainicher, C., Shepelkevich, A. P., Dydysenko, Y., Cairoli, E., & Chiodini, I. (2015). Bone health in type 1 diabetes: focus on evaluation and treatment in clinical practice. *Journal of Endocrinological Investigation*, 38(9), 941–950. <https://doi.org/10.1007/s40618-015-0284-9>
- Zinn, S., Nelis, P., Minnebeck, K., Hinder, J., Eter, N., Brand, S.-M., Gellner, R., Vorona, E., Alten, F., & Schmitz, B. (2020). Effect of high-intensity interval training in patients with type 1 diabetes on physical fitness and retinal microvascular perfusion determined by optical coherence tomography angiography. *Microvascular Research*, 132, 104057. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2020.104057>
- Zipitis, C. S., & Akobeng, A. K. (2008). Vitamin D supplementation in early childhood and risk of type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Archives of Disease in Childhood*, 93(6), 512–517. <https://doi.org/10.1136/adc.2007.128579>

Anexos

Anexo 1

PAR-Q

Este cuestionario determinará si usted está capacitado para un incremento en su nivel de actividad física. Lea detenidamente las siguientes preguntas y conteste con sinceridad. Redondee SÍ o NO.

1. ¿Alguna vez su médico le ha indicado que usted tiene un problema en el corazón y que solamente puede llevar a cabo actividades físicas bajo la autorización de un médico? SÍ NO
2. ¿Sufre dolores frecuentes en el pecho cuando realiza algún tipo de actividad física? SÍ NO
3. ¿En el último mes, le ha dolido el pecho cuando no estaba haciendo actividad física? SÍ NO
4. ¿Con frecuencia pierde el equilibrio debido a mareos, o ha sufrido una pérdida repentina del conocimiento? SÍ NO
5. ¿Tiene problemas osteo-articulares que pudieran agravarse con la actividad física? SÍ NO
6. ¿Le receta su médico algún fármaco como tratamiento para la tensión arterial o alguna dolencia cardíaca? SÍ NO
7. ¿Tiene conocimiento, por experiencia propia o como advertencia facultativa, de cualquier causa física que le impida practicar ejercicio sin supervisión médica? SÍ NO
8. ¿Tiene más de 65 años y no está habituado a la práctica de ejercicio físico intenso? SÍ NO

Si usted respondió SÍ a una o más preguntas:

Consulte a su médico de cabecera antes de aumentar su nivel de actividad física. Muéstrole una copia de este cuestionario PAR-Q. Después de una evaluación médica busque consejo profesional acerca de su capacitación para:

- Una actividad física sin restricciones, probablemente siguiendo un incremento gradual
- Una actividad restringida o supervisada para cumplir con sus necesidades específicas, al menos en principio

Si usted respondió NO a todas las preguntas:

Si todas sus respuestas son negativas, usted puede estar razonablemente seguro de que está capacitado para un incremento gradual de su nivel de actividad física.

He leído, comprendido y completado este cuestionario. Todas las preguntas fueron respondidas a mi entera satisfacción.

Nombre: _____ Fecha _____ Firmado.

Nota:

Este cuestionario es válido para un máximo de 12 meses a partir de la fecha de su firma y se invalida si su condición cambia de manera que ud debería responder SI a cualquiera de las siete preguntas.

Anexo 2

IPAQ

Estamos interesados en averiguar acerca de los tipos de actividad física que hace la gente en su vida cotidiana. Las preguntas se referirán al tiempo que usted destinó a estar físicamente activo en los últimos 7 días. Por favor responda a cada pregunta aún si no se considera una persona activa. Por favor, piense acerca de las actividades que realiza en su trabajo, en las tareas domésticas o en el jardín, en sus desplazamientos, en el tiempo libre, el ejercicio o el deporte.

Piense en todas las actividades INTENSAS que usted realizó en los últimos 7 días. Las actividades físicas intensas se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucho más intensamente que lo normal. Piense solo en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos 10 minutos seguidos.

1. Durante los últimos 7 días, ¿en cuántos realizó actividades físicas intensas tales como levantar cargas pesadas, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o pedalear en bicicleta de forma intensa?
_____ días por semana Ninguna actividad física intensa → Vaya a la pregunta 3

2. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física intensa en uno de esos días?
_____ horas por día _____ minutos por día No sabe / No está seguro

Piense en todas las actividades MODERADAS que usted realizó en los últimos 7 días. Las actividades moderadas son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense solo en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos 10 minutos seguidos.

3. Durante los últimos 7 días, ¿en cuántos días hizo actividades físicas moderadas como transportar pesos livianos, pedalear en bicicleta a velocidad normal o jugar dobles a tenis? No incluya caminar.

_____ días por semana Ninguna actividad física moderada → Vaya a la pregunta 5

4. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física moderada en uno de esos días?

_____ horas por día _____ minutos por día No sabe / No está seguro

Piense en el tiempo que usted dedicó a CAMINAR en los últimos 7 días. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.

5. Durante los últimos 7 días, ¿En cuántos caminó por lo menos 10 minutos seguidos?

_____ días por semana Ninguna caminata → Vaya a la pregunta 7

6. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?

_____ horas por día _____ minutos por día No sabe / No está seguro

La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted SENTADO durante los días laborables de los últimos 7 días. Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que pasó sentado ante un escritorio, visitando amigos, leyendo, viajando en automóvil o autobús, sentado o recostado mirando la televisión.

7. Durante los últimos 7 días ¿cuánto tiempo pasó sentado durante un día hábil?.

_____ horas por día _____ minutos por día No sabe / No está seguro

Anexo 3

PACES

Escala de medida del disfrute en la actividad física (PACES) Molt y cols. (2001)

Cuando estoy activo...	Totalmente en desacuerdo	Algo en desacuerdo	Neutro	Algo de acuerdo	Totalmente de acuerdo
1. Disfruto	1	2	3	4	5
2. Me aburre	1	2	3	4	5
3. No me gusta	1	2	3	4	5
4. Lo encuentro agradable	1	2	3	4	5
5. De ninguna manera es divertido	1	2	3	4	5
6. Me da energía	1	2	3	4	5
7. Me deprime	1	2	3	4	5
8. Es muy agradable	1	2	3	4	5
9. Mi cuerpo se siente bien	1	2	3	4	5
10. Obtengo algo extra	1	2	3	4	5
11. Es muy excitante	1	2	3	4	5
12. Me frustra	1	2	3	4	5
13. De ninguna manera es interesante	1	2	3	4	5
14. Me proporciona fuertes sentimientos	1	2	3	4	5
15. Me siento bien	1	2	3	4	5
16. Pienso que debería estar haciendo otra cosa	1	2	3	4	5

Disfrute: 1, 2(-), 3(-), 4, 5(-), 6, 7(-), 8, 9, 10, 11, 12(-), 13(-), 14, 15, 16(-)

Moreno, J. A., González-Cutre, D., Martínez Galindo, C., Alonso, N., y López, M. (2008). Propiedades psicométricas de la Physical Activity Enjoyment Scale (PACES) en el contexto español. *Estudios de Psicología*, 29(2), 173-180.

Anexo 4

PSQI

ÍNDICE DE CALIDAD DE SUEÑO DE PITTSBURGH (PSQI)	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> APELLIDOS Y NOMBRE: _____ N.º HºC: _____ SEXO: _____ ESTADO CIVIL: _____ EDAD: _____ FECHA: _____ </div>	
<p>INSTRUCCIONES: Las siguientes preguntas hacen referencia a cómo ha dormido Vd. normalmente durante el último mes. Intente ajustarse en sus respuestas de la manera más exacta posible a lo ocurrido durante la mayor parte de los días y noches del último mes. ¡Muy Importante! CONTESTE A TODAS LAS PREGUNTAS</p>	
<p>1. Durante el último mes, ¿Cuál ha sido, normalmente, su hora de acostarse? APUNTE SU HORA HABITUAL DE ACOSTARSE: _____</p>	
<p>2. ¿Cuánto tiempo habrá tardado en dormirse, normalmente, las noches del último mes? APUNTE EL TIEMPO EN MINUTOS: _____</p>	
<p>3. Durante el último mes, ¿a qué hora se ha levantado habitualmente por la mañana? APUNTE SU HORA HABITUAL DE LEVANTARSE: _____</p>	
<p>4. ¿Cuántas horas calcula que habrá dormido verdaderamente cada noche durante el último mes? (El tiempo puede ser diferente al que Vd. permanezca en la cama). APUNTE LAS HORAS QUE CREA HABER DORMIDO: _____</p>	
<p>Para cada una de las siguientes preguntas, elija la respuesta que más se ajuste a su caso. Intente contestar a TODAS las preguntas.</p>	
<p>5. Durante el último mes, cuántas veces ha tenido Vd. problemas para dormir a causa de:</p>	
<p>a) No poder conciliar el sueño en la primera media hora: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>	<p>e) Toser o roncar ruidosamente: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>
<p>b) Despertarse durante la noche o de madrugada: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>	<p>f) Sentir frío: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>
<p>c) Tener que levantarse para ir al servicio: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>	<p>g) Sentir demasiado calor: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>
<p>d) No poder respirar bien: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>	<p>h) Tener pesadillas o «malos sueños»: Ninguna vez en el último mes _____ Menos de una vez a la semana _____ Una o dos veces a la semana _____ Tres o más veces a la semana _____</p>

<p>i) Sufrir dolores:</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>j) Otras razones (por favor, descríbalas a continuación):</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>6. Durante el último mes, ¿cómo valoraría, en conjunto, la calidad de su sueño?</p> <p>Bastante buena _____</p> <p>Buena _____</p> <p>Mala _____</p> <p>Bastante mala _____</p> <p>7. Durante el último mes, ¿cuántas veces habrá tomado medicinas (por su cuenta o recetadas por el médico) para dormir?</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>8. Durante el último mes, ¿cuántas veces ha sentido somnolencia mientras conducía, comía, o desarrollaba alguna otra actividad?</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>9. Durante el último mes, ¿ha representado para Vd. mucho problema el «tener ánimos» para realizar alguna de las actividades detalladas en la pregunta anterior?</p> <p>Ningún problema _____</p> <p>Sólo un leve problema _____</p> <p>Un problema _____</p> <p>Un grave problema _____</p>	<p>10. ¿Duerme Vd. solo o acompañado?</p> <p>Solo _____</p> <p>Con alguien en otra habitación _____</p> <p>En la misma habitación, pero en otra cama _____</p> <p>En la misma cama _____</p> <p>POR FAVOR, SÓLO CONTESTE A LAS SIGUIENTES PREGUNTAS EN EL CASO DE QUE DUERMA ACOMPAÑADO.</p> <p>Si Vd. tiene pareja o compañero de habitación, pregúntele si durante el último mes Vd. ha tenido:</p> <p>a) Ronquidos ruidosos.</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>b) Grandes pausas entre respiraciones mientras duerme.</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>c) Sacudidas o espasmos de piernas mientras duerme.</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>d) Episodios de desorientación o confusión mientras duerme.</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p> <p>e) Otros inconvenientes mientras Vd. duerme (Por favor, descríbalos a continuación):</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Ninguna vez en el último mes _____</p> <p>Menos de una vez a la semana _____</p> <p>Una o dos veces a la semana _____</p> <p>Tres o más veces a la semana _____</p>
---	---

Anexo 5

BREQ-2

Escala de regulación de la conducta en el ejercicio físico (BREQ-2) Markland y Tobin (2004).

Yo hago ejercicio...	Totamente en desacuerdo	Algo en desacuerdo	Neutro	Algo de acuerdo	Totamente de acuerdo
Porque los demás me dicen que debo hacerlo	1	2	3	4	5
Porque me siento culpable cuando no practico	1	2	3	4	5
Porque valoro los beneficios que tiene el ejercicio físico	1	2	3	4	5
Porque creo que el ejercicio es divertido	1	2	3	4	5
No veo por qué tengo que hacer ejercicio	1	2	3	4	5
Porque mis amigos/familia/pareja me dicen que debo hacerlo	1	2	3	4	5
Porque no me siento bien conmigo mismo si falto a la sesión	1	2	3	4	5
Porque para mí es importante hacer ejercicio regularmente	1	2	3	4	5
No veo por qué debo molestarme en hacer ejercicio	1	2	3	4	5
Porque disfruto con las sesiones prácticas	1	2	3	4	5
Para complacer a otras personas	1	2	3	4	5
No veo el sentido de hacer ejercicio	1	2	3	4	5
Porque siento que he fallado cuando no he realizado un rato de ejercicio	1	2	3	4	5
Porque pienso que es importante hacer el esfuerzo de ejercitarse regularmente	1	2	3	4	5
Porque encuentro el ejercicio una actividad agradable	1	2	3	4	5
Porque me siento bajo la presión de mis amigos/familia para realizar ejercicio	1	2	3	4	5
Porque me pongo nervioso si no hago ejercicio regularmente	1	2	3	4	5
Porque me resulta placentero y satisfactorio el hacer ejercicio	1	2	3	4	5
Pienso que hacer ejercicio es una pérdida de tiempo	1	2	3	4	5

Regulación intrínseca: 4, 10, 15, 18

Regulación identificada: 3, 8, 14, 17

Regulación introyectada: 2, 7, 13

Regulación externa: 1, 6, 11, 16

Desmotivación: 5, 9, 12, 19

Moreno, J. A., Cervelló, E. M., y Martínez, A. (2007). Measuring self-determination motivation in a physical fitness setting: validation of the Behavioral Regulation in Exercise Questionnaire-2 (BREQ-2) in a Spanish sample. *The Journal of Sport Medicine and Physical Fitness*, 47(3), 366-378.

Anexo 6**SF-36**

Por favor conteste las siguientes preguntas. Algunas preguntas pueden parecerse a otras pero cada una es diferente. Tómese el tiempo necesario para leer cada pregunta, y marque con una la casilla que mejor describa su respuesta.

1) En general, usted diría que su salud es:

- a. Excelente
- b. Muy buena
- c. Buena
- d. Regular
- e. Mala

2) ¿Cómo diría que es su salud actual, comparada con la de hace un año?

- a. Mucho mejor ahora que hace un año
- b. Algo mejor ahora que hace un año
- c. Más o menos igual que hace un año
- d. Algo peor ahora que hace un año
- e. Mucho peor ahora que hace un año

Las siguientes preguntas se refieren a actividades o cosas que usted podría hacer en un día normal

3) Su salud actual, ¿le limita para hacer esfuerzos intensos, tales como correr, levantar objetos pesados, o participar en deportes agotadores?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

4) Su salud actual, ¿le limita para hacer esfuerzos moderados, como mover una mesa, pasar la aspiradora, jugar a los bolos o caminar más de una hora?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

5) Su salud actual, ¿le limita para coger o llevar la bolsa de la compra?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

6) Su salud actual, ¿le limita para subir varios pisos por la escalera?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

7) Su salud actual, ¿le limita para subir un solo piso por la escalera?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

8) Su salud actual, ¿le limita para agacharse o arrodillarse?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

9) Su salud actual, ¿le limita para caminar un kilómetro o más?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

10) Su salud actual, ¿le limita para caminar varias manzanas (varios centenares de metros)?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

11) Su salud actual, ¿le limita para caminar una sola manzana (unos 100 metros)?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

12) Su salud actual, ¿le limita para bañarse o vestirse por sí mismo?

- a. Sí, me limita mucho
- b. Sí, me limita un poco
- c. No, no me limita nada

Las siguientes preguntas se refieren a problemas en su trabajo o en sus actividades diarias

13) Durante las últimas 4 semanas, ¿tuvo que reducir el tiempo dedicado al trabajo o a sus actividades cotidianas a causa de su salud física?

- a. Sí
- b. No

14) Durante las últimas 4 semanas, ¿hizo menos de lo que hubiera querido hacer, a causa de su salud física?

- a. Sí
- b. No

15) Durante las últimas 4 semanas, ¿tuvo que dejar de hacer algunas tareas en su trabajo o en sus actividades cotidianas, a causa de su salud física?

- a. Sí
- b. No

16) Durante las últimas 4 semanas, ¿tuvo dificultad para hacer su trabajo o sus actividades cotidianas (por ejemplo, le costó más de lo normal), a causa de su salud física?

- a. Sí
- b. No

17) Durante las últimas 4 semanas, ¿tuvo que reducir el tiempo dedicado al trabajo o a sus actividades cotidianas a causa de algún problema emocional (como estar triste, deprimido, o nervioso)?

- a. Sí
- b. No

18) Durante las últimas 4 semanas, ¿hizo menos de lo que hubiera querido hacer a causa de algún problema emocional (como estar triste, deprimido, o nervioso)?

- a. Sí
- b. No

19) Durante las últimas 4 semanas, ¿no hizo su trabajo o sus actividades cotidianas tan cuidadosamente como de costumbre, a causa de algún problema emocional (como estar triste, deprimido, o nervioso)?

- a. Sí
- b. No

20) Durante las últimas 4 semanas, ¿hasta qué punto su salud física o los problemas emocionales han dificultado sus actividades sociales habituales con la familia, los amigos, los vecinos u otras personas?

- a. Nada
- b. Un poco
- c. Regular
- d. Bastante
- e. Mucho

21) ¿Tuvo dolor en alguna parte del cuerpo durante las 4 últimas semanas?

- a. No, ninguno
- b. Sí, muy poco
- c. Sí, un poco
- d. Sí, moderado
- e. Sí, mucho
- f. Sí, muchísimo

22) Durante las últimas 4 semanas, ¿hasta qué punto el dolor le ha dificultado su trabajo habitual (incluido el trabajo fuera de casa y las tareas domésticas)?

- a. Nada
- b. Un poco
- c. Regular
- d. Bastante
- e. Mucho

Las siguientes preguntas se refieren a cómo se ha sentido y como le han ido las cosas durante las 4 últimas semanas. En cada pregunta, responda lo que se parezca más a cómo se ha sentido usted.

23) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo se sintió lleno de vitalidad?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces

- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

24) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo estuvo muy nervioso?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

25) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo se sintió tan bajo de moral que nada podía animarle?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

26) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo se sintió calmado y tranquilo?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

27) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo tuvo mucha energía?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

28) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo se sintió desanimado y triste?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

29) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo se sintió agotado?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces

- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

30) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo se sintió feliz?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

31) Durante las 4 últimas semanas, ¿Cuánto tiempo se sintió cansado?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

32) Durante las 4 últimas semanas, ¿con qué recurrencia la salud física o los problemas emocionales le han dificultado sus actividades sociales (como visitar a amigos o familiares)?

- a. Siempre
- b. Casi siempre
- c. Muchas veces
- d. Algunas veces
- e. Sólo alguna vez
- f. Nunca

Por favor, diga si le parece cierta o falsa cada una de las siguientes frases

33) Creo que me pongo enfermo más fácilmente que otras personas

- a. Totalmente cierta
- b. Bastante cierta
- c. No lo sé
- d. Bastante falsa
- e. Totalmente falsa

34) Estoy tan sano como cualquiera

- a. Totalmente cierta
- b. Bastante cierta
- c. No lo sé
- d. Bastante falsa
- e. Totalmente falsa

35) Creo que mi salud va a empeorar

- a. Totalmente cierta
- b. Bastante cierta
- c. No lo sé
- d. Bastante falsa
- e. Totalmente falsa

36) Mi salud es excelente

- a. Totalmente cierta
- b. Bastante cierta
- c. No lo sé
- d. Bastante falsa
- e. Totalmente falsa

Anexo 7

Como se ha mencionado anteriormente, los cuestionarios PACES, PSQI, BREQ-2 y SF-36 se facilitaron de manera online a los participantes. Con el siguiente código QR se puede acceder al archivo que los sujetos completaron y con el cual se obtuvieron los datos.



“Si consigo ver más lejos, es porque me he subido a hombros de gigantes”

Isaac Newton

“Algunas personas quieren que algo ocurra, otras sueñan con que pasará, otras hacen que suceda”

Michael Jordan

“Puedo porque pienso que puedo”

Carolina Marín

“Play like a champion today”