



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación
Secretaría de Posgrado
Especialización en programación y evaluación del ejercicio



Influencia del ejercicio físico sobre el metabolismo de la glucosa en adultos con diabetes mellitus tipo 1: Una revisión narrativa

Trabajo final presentado para la obtención del título de: *“Especialista en programación y evaluación del ejercicio”*

Autor: Esp. Corvos Hidalgo César Augusto.
Director: Dr. Casas Adrián.

Noviembre, 2024
La Plata, Buenos Aires

Influencia del ejercicio físico sobre el metabolismo de la glucosa en adultos con diabetes mellitus tipo 1: Una revisión narrativa

Influence of physical exercise on glucose metabolism in adults with type 1 diabetes mellitus: An narrative review

Resumen

La diabetes está considerada un problema de salud pública en aumento, relacionada con la posibilidad de desarrollar enfermedad cardiovascular y otras enfermedades derivadas. Por otro lado, el ejercicio físico representa un excelente tratamiento no farmacológico para personas con esta patología. Este trabajo tiene como objetivo analizar el efecto del ejercicio físico sobre el metabolismo de la glucosa en adultos con diabetes mellitus tipo 1 durante las publicaciones científicas desde el año 2013 al 2023. De este modo, se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos PubMed y SPORTDiscus, obteniendo un total de 419 artículos, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión quedando seleccionados 14 artículos. Con respecto al ejercicio oxidativo (EO), se puede realizar, pero con más cuidado y vigilancia en comparación con otra actividad más intensa, así como estar atento a los niveles de glucemia antes, durante y después de éste, e incluso después de pasadas algunas horas, a pesar de algunos resultados contradictorios, se muestra una tendencia más marcada a la hipoglucemia, lo positivo es que se ha evidenciado un aumento del $\dot{V}O_{2\text{máx}}$. En relación al ejercicio de fuerza (EF) y el modelo de ejercicio interválico de alta intensidad (HIIT), la mayoría de los hallazgos muestran efectos positivos en el control glucémico y los niveles de HbA1c, incluido el aumento de la aptitud aeróbica, la fuerza muscular, así como la prevención de patologías relacionadas y derivadas de la diabetes mellitus.

Palabras claves: Diabetes Mellitus Tipo 1, ejercicio físico, factores de riesgo.

Abstract

Diabetes is considered a growing public health problem, related to the possibility of developing cardiovascular disease and other derived diseases. On the other hand, physical exercise represents an excellent non-pharmacological treatment for people with this pathology. This work aims to analyze the effect of physical exercise on glucose metabolism in adults with type 1 diabetes mellitus during scientific publications from 2013 to 2023. Thus, a bibliographic search was carried out in the PubMed and SPORTDiscus databases, obtaining a total of 419 articles, and applying the inclusion and exclusion criteria, 14 articles were selected. With respect to oxidative exercise (OE), it can be performed, but with more care and vigilance compared to other more intense activity, as well as being attentive to blood glucose levels before, during and after it, and even after some hours have passed, despite some contradictory results, it shows a more marked tendency to hypoglycemia, the positive thing is that an increase in $\dot{V}O_{2\text{max}}$ has been evidenced. In relation to strength exercise (SE) and high intensity interval training model (HIIT), most of the findings show positive effects on glycemic control and HbA1c levels, including increased aerobic fitness, muscle strength, as well as prevention of pathologies related to and derived from diabetes mellitus.

Key words: Type 1 diabetes mellitus, physical exercise, risk factors.

Índice

1. Introducción	4
1.1 Objetivo general:	5
1.2 Objetivo específico:	5
2. Métodos.....	6
Tabla 1. Características de los artículos incluidos en la revisión.	7
3. Resultados y discusión.....	11
3.1 Ejercicio de corte oxidativo (EO)	11
3.2 Ejercicio de corte fosfagénico (EcF) y/o glucolítico (EG)	13
3.3 Combinación de ejercicios.....	14
4. Consideraciones finales	14
5. Referencias	16

1. Introducción

La diabetes mellitus (DM), es una afección crónica que se presenta cuando se mantienen niveles elevados de glucosa en sangre, debido a que el organismo no sintetiza insulina (Diabetes Mellitus Tipo 1 – DMT1) o no puede utilizar eficazmente esta hormona (Diabetes Mellitus Tipo 2) (Lu & Zhao, 2020). En este orden de ideas, la insulina representa la principal señal endocrina anabólica que cumple un rol muy importante en el metabolismo de los carbohidratos, los lípidos y las proteínas, ésta hormona aumenta la captación de glucosa celular, estimula la glucólisis y promueve la síntesis de glucógeno hepático y muscular, triglicéridos adiposos y proteína del músculo esquelético, a la vez que previene su degradación (Baumgard et al., 2016).

La DMT1 es causada por múltiples factores ambientales y genéticos que desencadenan un proceso autoinmune, donde el sistema inmunitario ataca a las células β de los islotes de Langerhans del páncreas, las cuales son las encargadas de sintetizar la hormona insulina, como resultado, se compromete la síntesis de esta hormona llegando a ser muy baja o simplemente inexistente (Chen et al., 2022), los síntomas clínicos más comunes comprenden la presencia de polidipsia, poliuria, polifagia, referida a sed excesiva, episodios de micción de manera recurrente y hambre excesiva respectivamente, así como debilidad general o fatiga, visión borrosa y cetoacidosis.

La prevalencia de DM es una de las mayores preocupaciones de salud pública mundial del siglo XXI, varios estudios reportan entre el 5.6 y el 20.4% según la región, con una inminente tendencia de incremento a nivel global. En el caso específico de América Latina se estimó una prevalencia cercana al 10% para el año 2021 (International Diabetes Federation, 2021). Al tiempo que la creciente incidencia mundial de la DMT1 se espera que aumente en un 50% en 20 años y alcanzar los 55 millones en 2030 (Lu & Zhao, 2020). La DM en sí, representa un factor de riesgo de desarrollar otras enfermedades como la enfermedad cerebrovascular, cardiopatía isquémica, retinopatía, insuficiencia cardíaca e insuficiencia renal (Castellanos y Cobo, 2023).

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la DMT1 es una enfermedad autoinmune en la que se produce una deficiencia de la insulina por la destrucción de las células beta, teniendo como consecuencia un incremento en el nivel de glucemia en sangre (hiperglucemia). La hiperglucemia prolongada conlleva a la generación de productos de glicación avanzada y un estrés oxidativo incontrolado (Brownlee, 2005), que tienen un efecto perjudicial sobre la función mitocondrial y el metabolismo de los aminoácidos en miocitos y neuronas del sistema nervioso central y periférico (Zhao et al., 2018; Krause et al., 2011). Por lo tanto, la glucemia elevada de manera crónica es un importante factor de riesgo de disfunción cognitiva (Díaz-Venegas et al., 2017), así como de empeoramiento sobre el sistema neuromuscular debido precisamente al catabolismo inducido por la hiperglucemia descontrolada (Chulvi y Solà, 2010). Los pacientes con DMT1 suelen presentar atrofia muscular y disminuida fuerza muscular, neuropatía, problemas cognitivos y de comportamiento (Tonoli et al., 2015). En consecuencia, mantener la glucemia y la hemoglobina glucosilada (HbA1c) cerca del nivel recomendado (glucemia preprandial 80-130 mg/dl, glucemia postprandial < 180 mg/dl y HbA1c < 7,0%) es uno de los principales objetivos del tratamiento y la gestión a largo plazo de ésta enfermedad (Kahanovitz et al., 2017; American Diabetes Association, 2017).

De la misma manera, un gran porcentaje de sujetos con DMT1 presentan un comportamiento sedentario, principalmente, por miedo a la hipoglucemia post-ejercicio y falta de tiempo (Alarcón-Gómez et al., 2021), así, una terapia de insulina suficiente y el ejercicio bien planificado representan parte integral del tratamiento y la prevención de las complicaciones relacionadas con la DMT1 (American Diabetes Association, 2017;

Rowan et al., 2017). Además de que el ejercicio físico es considerado fundamental en el tratamiento de primera línea de varias patologías, inclusive enfermedades que no involucran disfunción del aparato locomotor, como las oncológicas, problemas cardiorrespiratorios, y DMT1 y tipo 2 (Pedersen & Saltin, 2015).

De acuerdo a lo anterior se persiguen los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general:

Analizar el efecto del ejercicio físico sobre el metabolismo de la glucosa en adultos con diabetes mellitus tipo 1 durante las publicaciones científicas desde el año 2013 al 2023.

1.2 Objetivo específico:

Identificar los efectos de distintos tipos de ejercicio sobre los componentes de la aptitud muscular y metabólica en individuos con diabetes mellitus tipo 1.

Reconocer los efectos de distintos tipos de ejercicio sobre parámetros fisiológicos de control (niveles de glucosa en sangre, concentración de hemoglobina A1c1 en individuos con diabetes mellitus tipo 1).

2. Métodos

Se emplearon las bases de datos PubMed, SPORTDiscus y Scopus, para la cual se introdujeron los términos MeSH y operadores booleanos: *“aerobic training” OR “aerobic exercise” AND “type 1 diabetes”*, *“resistance training” OR “strength training” “resistance exercise” AND “type 1 diabetes”*, *“high-intensity interval training (HIIT)” AND “type 1 diabetes mellitus”*, en donde han sido incluidos 14 artículos para analizar. La siguiente Tabla 1 presenta las características de los artículos incluidos en la revisión.

Tabla 1. Características de los artículos incluidos en la revisión.

Autor	Muestra	Protocolo	Resultados	Conclusión
Ridell et al., 2023	497 adultos con DMT1 con promedio de edad de 37 ± 14 años, asignados aleatoriamente a EO (162), HIIT (165) o EF (170). La cual usaban un sistema híbrido de bucle cerrado (ShBC), una bomba de insulina (BI) o inyecciones diarias múltiples (IDM) para administrar la insulina.	Seis sesiones estructuradas de EA: 70-80% de la FCmáx., HIIT: 80-90% de la FCmáx., y EF: fatiga de los grupos musculares posterior a 3 series de ocho repeticiones máximas. Los videos duraban 30 min, incluyendo etapa de calentamiento y enfriamiento de tres min cada una.	El cambio medio ($\pm$ DE) en glucosa durante el ejercicio asignado fue de -18 ± 39 , -14 ± 32 , y -9 ± 36 mg/dL para EO, HIIT y EF, respectivamente ($P < 0,001$), con resultados similares para los usuarios de ShBC, BI y usuarios de IDM. El tiempo en el rango 70-180 mg/dL ($3,9$ - $10,0$ mmol/L) fue mayor durante las 24 h posteriores al ejercicio del estudio en comparación con los días sin ejercicio (media $\pm$ DE $76 \pm 20\%$ frente a $70 \pm 23\%$; $P < 0,001$).	El EO produce un mayor descenso de la glucemia que que el HIIT y el EF, en adultos con DMT1. No obstante, las tres formas de ejercicio aumentan por igual el tiempo en rango de glucosa durante las siguientes 24 h, en comparación con los días días sin ejercicio.
Wrobel et al., 2018	21 hombres con edad promedio de 37 años.	Dos veces por semana durante tres meses. EO: 50 min al 75% de la carga de trabajo del umbral de lactato determinada durante el test de resistencia. EF: cinco ejercicios en cinco series de 10 a 15 rep con dos minutos de recuperación e incremento de la carga cada semana.	Disminuyó el nivel de HbA1c, pero no fue significativo EO: ($p=0,07$) frente a EF ($p=0,15$). Sin diferencias significativas en la masa corporal, el riesgo de hipoglucemia y factores de riesgo cardiovascular.	Las dos modalidades de ejercicio son seguras en términos de control glucémico y factores de riesgo cardiovascular en pacientes con DMT1 bien controlada y sin complicaciones tardías avanzadas.
Reddy et al., 2019	10 individuos con DMT1 con edad promedio de 33 ± 6 años.	EO: 45 min al 65% del $\dot{V}O_{2\max}$. EF: tres series entre 8-12 repeticiones al 60-80% de 1RM de cinco ejercicios, aplicado dos veces por semana durante tres semanas.	El EO causó una reducción media de la glucosa durante el ejercicio de $3,94 \pm 2,67$ mmol/L mientras que la reducción durante el EF fue de $1,33 \pm 1,78$ mmol/L ($p=0,007$). El porcentaje medio de tiempo en rango durante las 24 horas siguientes al EF fue significativamente mayor que durante el periodo de control (70% frente a 56% , $p=0,013$), pero no tras el EO (60%).	De acuerdo a los resultados, considerando varios factores de confusión, el EF podría tener mejoras sobre el control glucémico en esta población en comparación con el EO.
Wrobel et al., 2022	11 hombres con edad promedio de 38 ± 6 años.	EF: Dos veces por semana durante tres meses.	Se observa un incremento estadísticamente significativo de la fuerza muscular máxima en comparación con el valor basal pero no se observaron cambios significativos en la concentración sérica de irisina, la HbA1c ni otros parámetros evaluados.	Un programa de EF de tres meses en pacientes con DMT1 de larga duración y bajo nivel de actividad física afecta significativamente a su nivel de fuerza máxima.

Tabla 1. Continuación

Autor	Muestra	Protocolo	Resultados	Conclusión
Sigal et al., 2022	GI: 71 individuos. GC: 60 individuos.	EF: tres series de ocho repeticiones de siete ejercicios distintos aplicado tres veces por semana y manteniendo la frecuencia, la duración y la intensidad del EO que llevan a cabo.	No hubo diferencias significativas en el cambio de HbA1c entre el GI y el GC. Se observó una disminución en HbA1c GI: 7,75 - 0,10% (61,2 - 1,1 mmol/mol) a 7,55 a 0,10% (59 x 1,1 mmol/mol); GC: 7,70 - 0,11% (60,7 mmol/mol) a 7,57 x 0,11% (59,6 x 1,3 mmol/mol). También hubo una reducción en la circunferencia de la cintura más en el GI que en el GC después de seis meses (P = 0,02). La fuerza muscular aumentó más en GI que en GC (P. 001).	Añadir entrenamiento de fuerza no afectó la glucemia, pero aumentó la fuerza y redujo la circunferencia de la cintura, en individuos aeróbicamente activos con DMT 1.
Farinha et al., 2018	28 individuos varones y mujeres. EF: 9 participantes (25,4 ± 5,6 años) HIIT: 9 participantes (22,9 ± 3,6 años) EF + HIIT: 10 participantes (24,9 ± 5,7 años).	EF: Tres series de ocho repeticiones máximas y 1 min de recuperación. HIIT: 10 series de 1 min al 90% de la FCmáx y recuperación de 90 s. Aplicado tres veces por semana durante 10 semanas.	Aplicados por separado (EF, HIIT) y combinados (EF+HIIT) mejoraron los parámetros glucémicos (HbA1c y glucosa en ayunas) y antioxidantes (capacidad anti oxidante total), pero no los marcadores inflamatorios plasmáticos (proteína C reactiva, TNFα e IL-10) ni los marcadores de estrés oxidativo.	Se obtuvo resultados favorables en todos los protocolos en los marcadores de HbA1c y glucosa en ayunas, así como la mejora morfológica, sin embargo, el alto volumen (EF+HIIT) jugó un papel muy beneficioso con relación a la reducción de las dosis de insulina.
Scott et al., 2019	HIIT: 7 participantes con edad promedio de 29 ± 3 años. EO: 7 participantes con edad promedio de 29 ± 5 años.	EO: 30 min al 65% del $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ con incremento del tiempo cada dos semanas. HIIT: 1 min equivalente al 100% del $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ seguido de un min de recuperación, con incrementos de en los intervalos cada dos semanas. Tres veces por semana durante seis semanas.	Tanto HIIT como el EO aumentaron el $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ en un 14% y un 15%, respectivamente (P, 0,001), y la velocidad de la onda de pulso aórtica en un 12% (P, 0,001), sin diferencias entre grupos. No hubo diferencias en la incidencia o porcentaje de tiempo pasado en hipoglucemia después del entrenamiento en ninguno de los grupos (P, 0,05). En el estado alimentado, el cambio medio ($\pm$SEM) en la concentración capilar de glucosa sanguínea durante las sesiones de HIIT fue de $-0,2 \pm 0,5$ mmol/L, y de $-5,5 \pm 0,4$ mmol/L durante el EO.	El HIIT mejoró el $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ y velocidad de la onda de pulso aórtica en una medida similar al EO, asimismo, los niveles de glucosa sanguínea se mantuvieron estables durante el HIIT en el estado de alimentación, pero disminuyeron de forma constante durante el EO, lo que sugiere que el HIIT puede ser el modo de entrenamiento preferido para algunos individuos con DMT1.
Murillo et al., 2022	HIIT: 17 participantes con edad promedio de 34,4 ± 6,3 años con DMT1 y 15 sin DMT1 con edad promedio de 35,1 ± 10,3 años. EO: 13 participantes con edad promedio de 35,5 ± 12,2 años con DMT1 y 11 sin DMT1 con edad promedio de 30,7 ± 7,5 años.	HIIT: 1:4, 30 s al 100-120% del $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ seguido de 2 min de recuperación activa (40-50% $\dot{V}O_{2\text{máx}}$). EO: 30 min equivalente al 65-70% del $\dot{V}O_{2\text{máx}}$. Duración: 3 semanas.	Durante las sesiones de entrenamiento, los niveles de glucosa en sangre se mantuvieron estables en el grupo de ejercicio HIIT ($+3,2 \pm 16,2$ mg/dL, $p=0,43$) mientras que disminuyeron en el grupo de EO ($-27,1 \pm 17,5$ mg/dL, $p < 0,0001$); los participantes del HIIT necesitaron menos suplementos de carbohidratos para prevenir la hipoglucemia en comparación con los participantes del EO; en general, ambos grupos de ejercicio experimentaron una reducción en los niveles promedio de glucosa en sangre pero el EO provocó un aumento de la frecuencia de episodios de hipoglucemia, $0,56 \pm 0,9$ sesiones, en comparación con $1,83 \pm 0,5$ sesiones ($p < 0,04$) en el grupo de EO.	El entrenamiento HIIT resulta en una mayor estabilidad glucémica, con reducción de episodios hipoglucémicos

Tabla 1. Continuación

Farinha et al., 2019	Para el HIIT y el EF la muestra la conformaron nueve participantes para cada uno y 10 participantes para el HIIT + EF, con rango de edad entre 18 a 40 años.	HIIT: 10 series de 60 s al 90% de la FC_{máx} más 60 s de recuperación activa. EF: Tres series de ocho repeticiones seguido de 60 s de recuperación entre series.	Tras de 10 semanas de actividad, disminuyeron de forma similar los niveles de HbA1c (HIIT: $7,5 \pm 1,5$ frente a $7,2 \pm 1,1$, EF $8,1 \pm 1,3$ frente a $8 \pm 0,8$, EF+HIIT: $7,5 \pm 1$ frente a $7,2 \pm 0,7\%$, $P = 0,013$), aunque sólo los participantes de EF+HIIT redujeron su dosis diaria de insulina autodeclarada tras la intervención ($61,6 \pm 11,6$ frente a $53,8 \pm 14,3$ UI/día, $p = 0,047$). En cuanto al nivel de glucemia $\leq 70,26$ mg/dL, hubo 41 registros de 261 sesiones en HIIT (15,7%), 32 registros de 250 sesiones en EF (12,8%) y 27 registros de 284 sesiones en el grupo EF+HIIT (9,5%). Sin embargo, no se encontraron diferencias entre los grupos ($P = 0,094$).	Las sesiones de HIIT redujeron la glucemia en un mayor grado que las sesiones EF o EF+HIIT a lo largo de 10 semanas. Los individuos con DMT1 que tienden a desarrollar hipoglucemia grave asociada al ejercicio y/o presentan niveles de glucosa capilar previa al ejercicio cercana a 99,09 mg/dL pueden realizar (preferiblemente) EF o HIIT después del EF. No se ha medido la ingesta de alimentos o la dosis de insulina antes de cada sesión de ejercicio, que pueden haber interferido en los niveles de glucosa capilar.
	Rideell et al., 2019	Cada sesión de HIIT duró 25 min en total e incorporó múltiples formatos de ejercicio. Los primeros cinco min de HIIT incluyó un calentamiento en bicicleta de 30 s al 50 $VO_{2\text{pico}}$, seguido de ráfagas de 30 s de ciclismo a 100-, 110-, 120-, 130- y 130% de la potencia de salida máxima (vatios), como se observó en el $VO_{2\text{pico}}$ en prueba en cicloergómetro, intercaladas con 30 s de recuperación activa a una intensidad de trabajo correspondiente al 50% del $VO_{2\text{pico}}$, continuado de una pausa de cinco min para la recogida de muestras de sangre. La serie intermedia de actividades dentro de una sesión HIIT incluía una serie de cinco EG con una duración de 20 s cada uno, realizado dos veces con una duración total de 5 min. Tras un segundo periodo de recuperación de cinco min para extracción de sangre, los participantes volvieron al cicloergómetro para repetir un segundo protocolo HIIT de cinco minutos (como se ha descrito anteriormente). Se realizaron cuatro sesiones en estado de ayuno durante un periodo de cuatro a seis semanas.	La FC y la valoración del esfuerzo percibido aumentaron de forma similar en todas las sesiones, al igual que el lactato, las catecolaminas y la hormona del crecimiento. La glucosa plasmática aumentó en respuesta al HIIT en 62 de 64 visitas (97%), con un aumento global de $66,66 \pm 1,6$ mg/dL ($P < 0,001$). En las comparaciones intraindividuos, el cambio en la glucosa plasmática entre las cuatro sesiones de HIIT se correlacionó significativamente con un nivel de 0,58 ($r^2 = 0,34$; 95% CI 0,35-0,80; $P < 0,01$).	Las observaciones entre cada una de las sesiones distintas mostraron un incremento en las respuestas cardiometabólicas y hormonales al ejercicio, incluido el aumento de la glucosa plasmática cuando se llevaron a cabo las actividades en estado de ayuno, destacando éste último hecho de la hora del día.
Münnebeck et al., 2020	Once individuos con DMT1, con sobrepeso y edad promedio de $40,7 \pm 14,3$ años y 11 con DMT1 y peso óptimo y edad promedio de $42,2 \pm 15,5$ años.	HIIT: 60 s a una intensidad mayor o igual al 95% de la FC_{máx}, seguidos de 60 s de recuperación pasiva (relación trabajo/recuperación 1:1) dos veces por semana durante cuatro semanas.	El HIIT redujo los niveles de LDL y los niveles de ácido úrico en individuos con DMT1 y sobrepeso hasta en un 10,5% (frente a los de peso óptimo, $p < 0,0312$). Los niveles de HbA1c, HDL y TRG no tuvieron modificaciones en ninguno de los grupos.	El HIIT puede ejercer efectos beneficiosos sobre la condición física, la necesidad de insulina y la calidad de vida relacionada con la salud. Destacando que los efectos beneficiosos del HIIT sobre el perfil de riesgo cardiometabólico en individuos con DMT1 pueden ser mayores en individuos con DMT1 con sobrepeso.

Tabla 1. Continuación

Autor	Muestra	Protocolo	Resultados	Conclusión
Lee et al., 2020	GI: 12 individuos con DMT1 y promedio de edad de 40 ± 10 años. GC: 15 individuos con DMT1 y edad promedio de 46,1 ± 10,5 años.	HIIT: 4*4 del 85 al 95% de la FC pico aplicado tres veces por semana durante 12 semanas de forma supervisada y otras 12 semanas sin supervisión.	La HbA1c disminuyó del 8,63 ± 0,66% al inicio del estudio al 8,10 ± 1,04% a las 12 semanas en el grupo de intervención HIIT (P= 0,01); sin embargo, este cambio no fue significativamente diferente del GC (HIIT -0,53 ± 0,61%, control -0,14 ± 0,48%, P= 0,08). En los participantes que alcanzaron al menos el 50% de la intervención de HIIT prescrito, la reducción de la HbA1c fue significativamente mayor que en el grupo de control (HIIT -0,64 ± 0,64% [n= 9], control -0,14 ± 0,48% [n =15], p= 0,04). No hubo diferencias en la dosis de insulina, lipoglicemia en la monitorización continua de glucosa, PAS, lípidos sanguíneos, peso corporal o composición corporal entre los grupos. La adherencia al entrenamiento fue del 95 ± 2% y el cumplimiento del 99 ± 1%. El HIIT basado en casa aumentó el $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ en un 7% (P = 0,017) y redujo la dosis de insulina en un 13% (P = 0,012). La concentración de glucosa en sangre no varió desde el valor basal hasta inmediatamente o 1 h después del HIIT basado en casa. Las percepciones cualitativas del HIIT basado en casa y del sistema de monitorización virtual fueron positivas, lo que apoya que la intervención eliminó con éxito las barreras en personas con DMT1.	En general, no hubo una reducción significativa de la HbA1c con una intervención HIIT de 12 semanas en adultos con DMT 1. Sin embargo, el control glucémico puede mejorar en individuos con DMT1 que realizan HIIT con una adherencia mayor.
Scott et al., 2019	11 individuos, siete mujeres con edad promedio de 30 ± 3 años.	HIIT basado en casa (no supervisado), realizando 60 s de actividad hasta alcanzar más del 80% de la FCmáx, seguido de 60 s de recuperación, tres veces por semana durante seis semanas. Cada dos semanas se incrementó el número de intervalos iniciando en seis las primeras dos semanas, hasta 10, las semanas cinco y seis.	Después de seis semanas de intervención, se evidenciaron cambios significativos en la glucosa en ayunas (135,8 ± 95,0 vs. 124,5 ± 15,6 mg/dL), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (37,1 ± 4,1 vs. 40,4 ± 3,8 mL/min/kg), en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (37,8 ± 27,9 vs. 44,3 ± 27,7 ms) así como en el porcentaje de masa grasa (24,2% a 22,4%).	Se sugiere que la monitorización virtual es una estrategia segura y aceptable para ayudar a las personas con DMT1 a realizar una actividad que pueda mejorar su calidad de vida disminuyendo así las dosis de insulina e incrementando el $\dot{V}O_{2\text{pico}}$.
Alarcón-Gómez et al., 2021	DMT1: 19 individuos con edad promedio de 37 ± 6,5 años. GC: 8 individuos con DMT1 y edad promedio de 35 ± 8,2 años	HIIT: Intervalos de 30 s (al 85% potencia pico de salida) con recuperación de 1 min (al 40% potencia pico de salida) Semana: 1-2: 12 series. Semana 3-4: 16 series. Semana 5 y 6: 20 series. Aplicado tres veces por semana durante seis semanas.	Después de seis semanas de intervención, se evidenciaron cambios significativos en la glucosa en ayunas (135,8 ± 95,0 vs. 124,5 ± 15,6 mg/dL), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (37,1 ± 4,1 vs. 40,4 ± 3,8 mL/min/kg), en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (37,8 ± 27,9 vs. 44,3 ± 27,7 ms) así como en el porcentaje de masa grasa (24,2% a 22,4%).	El HIIT representa una herramienta eficaz para mejorar el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, la composición corporal, la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la glucosa en ayunas, que son importantes factores de riesgo cardiometabólico en individuos con DMT1.

Abreviaturas: FC: frecuencia cardíaca; PAS: presión arterial sistólica; GI: grupo intervención; GC: grupo control; EO: ejercicio de corte oxidativo; EF: ejercicio de fuerza; HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad; FC máx: frecuencia cardíaca máxima; $\dot{V}O_{2\text{máx}}$: consumo de oxígeno máximo; $\dot{V}O_{2\text{pico}}$: consumo de oxígeno pico; DMT1: diabetes mellitus tipo 1; 1RM: una repetición máxima; TNE-∞: factor de necrosis tumoral Alpha; IL-10: interleucina diez; LDL: lipoproteína de baja densidad; HDL: lipoproteína de alta densidad; TRG: triglicéridos; HbA1c: hemoglobina glucosilada

3. Resultados y discusión

Actualmente, en el área del ejercicio físico, se emplean frecuentemente los términos "aeróbico" y "anaeróbico", que, desde hace algún tiempo están siendo debatidos debido a su asociación con una comprensión errónea del metabolismo, en éste sentido, Chamari y Padulo (2016) consideran que describir a los modos de ejercicio sobre la base de su "vía fisiológica" podría provocar errores, teniendo en cuenta que aun muchos autores y profesionales de la actividad física y el deporte, describen el ejercicio de corta duración como "anaeróbico" y aquellos de larga duración como "aeróbicos".

De acuerdo a los autores citados, la contribución de las vías metabólicas depende principalmente de la intensidad y la duración del ejercicio realizado Chamari y Padulo (2016), de esta manera, se considera emplear los siguientes términos en base a lo sugerido por Salazar et al. (2023) y Bustos-Viviescas et al. (2022):

El metabolismo anaeróbico aláctico se puede denominar como la vía de los fosfágenos, ya que no sólo, no se corresponde con la ausencia de oxígeno, sino que otra vía estaría involucrada en la producción de energía. En este sentido, nos referiremos a lo largo de este manuscrito a actividades de este tipo como actividades de corte fosfagénico (ejercicio fosfagénico).

El metabolismo anaeróbico láctico se debe referenciar como metabolismo glucolítico o glucólisis, entendiendo esta como el proceso independiente de oxígeno, pero que sucede tanto en presencia como en ausencia de éste, así, nos referiremos a lo largo de este manuscrito a actividades de este tipo como actividades de corte glucolítico (ejercicio glucolítico).

Finalmente, el metabolismo aeróbico reconocerlo como la vía mitocondrial o simplemente fosforilación oxidativa, teniendo en cuenta que sucede dentro de la mitocondria, con la necesidad de oxígeno y con el objetivo de oxidar los sustratos energéticos creados en cualquier otro proceso. De esta forma nos referiremos a lo largo de este manuscrito a actividades de este tipo a actividades de corte oxidativo (ejercicio oxidativo).

3.1 Ejercicio de corte oxidativo (EO)

En la Tabla 1 se presentan de manera detallada los estudios relacionados al EO incluidos en esta revisión, en uno de ellos se demostró que aplicando un protocolo de EO dos veces por semana no es suficiente para disminuir significativamente los niveles de HbA1c, al tiempo que tampoco hubo diferencias en la masa corporal, el riesgo de hipoglucemia y factores de riesgo cardiovascular al compararse en el post test y también con ejercicio de fuerza (EF) (Wróbel et al., 2018). Resultados distintos encontramos en el estudio de Reddy et al., (2019), en donde se evidenció que el EF puede ser mejor en cuanto al control glucémico en comparación con el EO, observándose en este último una tendencia a la reducción de la glucosa durante la actividad, similar al estudio de Scott et al., (2019), que, pese a que tanto el EO como el HIIT incrementaron el $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ y la velocidad de pulso, los niveles de glucosa disminuyeron de forma constante durante el EO. Resultados muy parecidos encontramos en el estudio de Ridell et al., (2023), en donde la glucosa también mostró una tendencia a la disminución con el EO, siendo esta disminución mayor cuando se comparó a otras formas de actividades de mayor intensidad, sin embargo, pudieron concluir que las tres formas de ejercicio aplicado a los grupos aumentan por igual el tiempo en rango de glucosa durante las siguientes 24 h en comparación a los días sin ejercicio.

En línea con lo anterior y más relacionado a la hipoglucemia observada durante el EO, las mediciones de glucosa son una parte esencial para la prescripción del ejercicio, para vigilar el nivel de azúcar en sangre antes y después de éste, y cada 30 min en caso de ejercicio prolongado. De acuerdo a la American Diabetes Association, (2002) los individuos con DMT1 no deberían practicar ejercicio si su nivel de glucosa es superior a 300 mg/dl, o en caso de cetonas en la orina superior a 250 mg/dl. Muchas personas con DMT1 pueden tener dificultades para seguir un EO y hay un gran número de estas que reportan problemas con hipoglucemia inducida por el EO (Pinsker, 2016; Yardley et al., 2013); Ridell et al., 2023), más que otro tipo de actividad de mayor intensidad.

La hormona del crecimiento, el glucagón, las catecolaminas y el cortisol aumentan normalmente cuando se realiza ejercicio por primera vez en una persona con DMT1. Sin embargo, las concentraciones de insulina en individuos con DMT1 no disminuyen porque la insulina se administra a través de inyecciones en depósitos de tejido adiposo subcutáneo. Además, al comienzo del ejercicio, las concentraciones de insulina con frecuencia aumentan debido al incremento de la perfusión sanguínea en lugar de la inyección de insulina, provocando concentraciones de insulina en plasma más altas de lo normal durante el ejercicio, lo que significa que la producción de glucosa por parte del hígado a menudo no puede equilibrarse con el uso de glucosa por parte del músculo, lo que resulta en una reducción de la glucosa en sangre. La respuesta hormonal protectora normal (un aumento de glucagón y catecolaminas) puede estar disminuida o ausente si no se toman medidas en respuesta a esta caída de glucosa (Cockcroft et al., 2020).

Reforzando la idea anterior, es importante tener en cuenta el momento de realizar el ejercicio, por lo que la disminución de la glucosa sanguínea será más vertiginosa durante el ejercicio si se realiza durante el tiempo de efecto máximo de la insulina, es decir, si la insulina se administra dentro de las cinco horas después de la inyección de insulina regular, o si se supera la insulina administrada. Esto tiene dos bases: la insulina acelera la absorción y utilización de glucosa por los músculos esqueléticos; por otro lado, cuando la insulina anula la producción de glucosa hepática, ocurre una hipoglucemia. (Jauregui y López, 2015). Así, abogamos también por la recomendación de la Sociedad Brasileña de Diabetes 2022 (Pereira et al., 2023) en relación al ejercicio en individuos con DMT1, sugiriendo que aquellos sujetos dependientes de insulina como tratamiento terapéutico deben controlar adecuadamente los niveles de glucemia antes, durante y después de las sesiones de ejercicio para minimizar los incidentes como la hipoglucemia.

En resumen, la conducta adecuada para que las personas con DMT1 puedan realizar EA con seguridad se basa en asegurar una ingesta apropiada de CHO antes del ejercicio mismo que eleve los niveles de glucosa en sangre por encima de 126 mg/dL pero no por encima de 270 mg/dL, junto con una reducción de la dosis de insulina antes del ejercicio para contrarrestar el aumento de la sensibilidad a la insulina y la intensificación de los mecanismos de transporte de glucosa no insulino dependientes que se producen durante el ejercicio (Riddell et al., 2017). Para ello, es importante realizar al menos dos mediciones de glucemia, una media hora antes y una segunda 10 min después. Si el ejercicio es de larga duración, será esencial un aporte suplementario de glucosa y fructosa durante el mismo. Una vez finalizado el ejercicio, la reducción de insulina y la ingesta de CHO es de nuevo esencial para prevenir la hipoglucemia post-ejercicio (Cockcroft et al., 2020).

Por su parte, en relación al análisis de los niveles de HbA1c, en otro protocolo de HIIT no supervisado aplicado durante doce semanas, en donde se realizaron tandas de cuatro minutos a intensidad alta, interpuesta de tres minutos de recuperación activa (4x4), no se encontró evidencia de una reducción significativa de la HbA1c en comparación con el grupo control en adultos con DMT1 y sobrepeso u obesidad. Sin embargo, hubo

reducciones favorables de HbA1c en el subgrupo que cumplió con una adherencia mayor al 50%, pudiendo así mejorar el control glucémico cuando se realiza HIIT (Lee et al., 2020), haciendo hincapié en la importancia de la frecuencia y el seguimiento de la actividad a mediano y largo plazo por parte de los participantes.

El EO puede ser realizado siempre y cuando se lleve un régimen dietético adecuado y un buen control del nivel de glucemia sanguínea, tal y como expone Romeres et al., (2020), se recomienda el EO en un estado de glucemia normal o modestamente hiperglucemia en tanto no supere los 180 mg/dL, y alejado del estado de hiperinsulinemia por cuanto ésta última tiene a disminuir la glicemia de forma abrupta durante el EO, coincidiendo con la American Diabetes Association (2017).

3.2 Ejercicio de corte fosfagénico (EcF) y/o glucolítico (EG)

Si el ejercicio se torna muy intenso, con una predominancia del sistema fosfagénico (Chamari y Padulo, 2016) y/o glucolítico (Spencer y Gastin, 2001), se ha propuesto que tiene una asociación con el incremento de hormonas contrarreguladoras (catecolaminas, glucagón, hormona del crecimiento) que pueden actuar para aumentar los niveles de glucosa (Cockcroft et al., 2020), de manera que estos tipos de actividad a menudo conducen a situaciones de hiperglucemia durante el ejercicio y poco después de su culminación (Campbell et al., 2015), precisamente por su efecto hiperglucemiante se sugiere que incluir alguna actividad breve de alta intensidad (5-15 s) en una sesión de EO podría ser un enfoque eficaz para contrarrestar la hipoglucemia (French et al., 2007). Al mismo tiempo, el EF genera incremento de estas hormonas contrarreguladoras (Cockcroft et al., 2020; Petschnig et al., 2020), contribuyendo a estabilizar la glucosa en sangre, quedando demostrado que realizar EF antes (Yardley et al., 2013) o después de una sesión de EO tiene efectos protectores (Cockcroft et al., 2020).

Farinha et al, (2018) observaron reducciones en los marcadores de HbA1c y glucosa en ayunas, así como la mejora morfofuncional, pese a que este protocolo de EF contó con una duración de sólo 10 semanas. Por el contrario, no se han evidenciado cambios significativos en los niveles de HbA1c, pero sí en los niveles de fuerza muscular en adultos cuya duración del EF fue de tres meses (Wróbel et al., 2022). Por último, en un estudio piloto con una duración de tres semanas propuesto por Reddy et al, (2019), se comparó un protocolo de EO con otro de EF, en donde se pudo constatar que con este último el porcentaje medio de glucosa en sangre se mantuvo por más tiempo dentro de rangos óptimos sugeridos. Al parecer el volumen puede representar un factor importante en su influencia en los niveles de HbA1c en individuos con DMT1.

Seguidamente, también se ha investigado los beneficios del sistema HIIT, concretamente si seis semanas de aplicar un minuto de alta intensidad seguido de un minuto de recuperación, con incrementos en el número de series cada dos semanas, pueden ser más o igual de eficaces en mejorar la salud cardiometabólica que el EO en personas con DMT1, a la vez, que se evaluó si el HIIT era capaz de mitigar la hipoglucemia observada con el EO. Los autores concluyeron que ambas propuestas aumentaron el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$. de manera similar y sin diferencias significativas, pero, evidenciaron que los niveles de glucosa se mantuvieron sin modificaciones en el grupo de HIIT, disminuyendo la glucosa en el EO, sugiriendo así que el HIIT es una opción válida para esta población específica (Scott et al., 2019). Resultados similares se observaron en el estudio de Minnebeck et al. (2020) que, con una duración de cuatro semanas y una frecuencia de dos veces por semana, se desarrollaron actividades de un minuto a alta intensidad interpuestas de un

minuto de recuperación activa en sujetos con DMT1 con sobrepeso, donde los mayores beneficios estuvieron relacionados al estado físico, el requerimiento de insulina y la calidad de vida.

Otro estudio en donde se observó estabilidad glucémica fue el liderado por Murillo et al. (2022), donde se comparó un protocolo de diez tandas de 30 segundos de alta intensidad seguidas de dos minutos de recuperación con otro protocolo que consistió en 30 minutos de actividad continua a intensidad moderada. Tal y como ya se detalló antes, el protocolo HIIT resultó en una mayor estabilidad glucémica y una reducción en los episodios de hipoglucemia, resaltando el hecho de que éste estudio tuvo una duración relativamente corta de solo tres semanas, cuya frecuencia fue de tres veces por semana.

Por último, en otro estudio con diecinueve adultos inactivos con DMT1, asignados aleatoriamente a seis semanas de HIIT, o a un grupo control, fue notorio que en la programación con HIIT cuya propuesta consistió en realizar intervalos de 30 segundos seguido de una recuperación activa de un minuto, con incremento en el número de series cada dos semanas, se mejoró significativamente el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, la composición corporal y los niveles de glucosa en ayunas, no reportándose eventos de hipoglucemia grave (Alarcón-Gómez et al., 2021).

3.3 Combinación de ejercicios

En un estudio en donde se aplicó el HIIT, el EF y EF + HIIT y su impacto sobre marcadores inflamatorios, parámetros de estrés oxidativo, antropométricos y funcionales, se han observado resultados favorables en todos los protocolos en los marcadores de HbA1c y glucosa en ayunas, así como la mejora morfofuncional, sin embargo, el alto volumen (EF + HIIT) jugó un papel muy beneficioso con relación a la reducción de las dosis de insulina (Farinha et al., 2018). Siguiendo al mismo autor, en otro estudio se ha demostrado que, durante un transcurso de 10 semanas, las sesiones de HIIT redujeron la glucemia en un mayor grado que las sesiones de EF e incluso que EF + HIIT, sugiriendo que aquellos individuos con DMT1 más sensibles a desarrollar hipoglucemia grave asociada al ejercicio y/o presentan niveles de glucemia previa al ejercicio cercana 99,09 mg/dL pueden realizarlo, preferiblemente EF o HIIT después del EF (Farinha et al., 2019). En otro estudio en donde se aplicó un protocolo de EF a un grupo que ya venía haciendo EO se evidenció que la suma del EF al EO no afectó el comportamiento de la glicemia, pero si incrementó la fuerza muscular y redujo la circunferencia de la cintura en el grupo al que se le realizó el protocolo (Sigal et al., 2022). Por último, la aplicación de un protocolo de entrenamiento de HIIT + EF con autocarga mostraron un incremento de la glucosa plasmática cuando los adultos con DMT1 realizan la actividad en ayunas, destacando este último hecho de la hora del día, así como la aplicación del protocolo sólo en aquellos que estaban en buen control metabólico en la mañana del ejercicio (Ridell et al., 2019).

4. Consideraciones finales

En los últimos años se ha publicado una gran variedad de investigación relacionada a la DMT2 y el ejercicio físico, por lo que se ha volcado la atención al efecto del ejercicio físico en individuos con DMT1, ésta última afirmación, caracterizada sobre todo por la

incidencia de posible hipoglicemia durante e incluso posterior al ejercicio, factor de gran importancia e incluso determinante para aquellos individuos que quieran realizar algún tipo de ejercicio físico que padezcan la enfermedad.

El ejercicio adecuado representa un componente importante y eficaz en el tratamiento de la DMT1. El ejercicio físico debidamente planificado y la capacidad de reaccionar a los cambios en la glucemia durante la sesión de éste, brindan una posibilidad sustancial de control sérico seguro de la misma, y la ausencia de complicaciones después de cada sesión. La prescripción de ejercicio físico realizada en un individuo con DMT1, difiere de la de un individuo aparentemente saludable, debiendo incluir los cuidados y consideraciones pertinentes del caso para así garantizar sesiones de trabajo seguras.

Los hallazgos científicos sugieren de manera bastante consistente el EcF y el EG, cuya práctica ha demostrado que incluso interviene favorablemente en la regulación de los perfiles inflamatorios y lipídicos en individuos con DMT1, así, el reconocer este tipo de actividades, y la aplicación de estas antes o durante una sesión de EO, incluso el mismo EO pero realizado a una mayor intensidad, puede representar una estrategia eficaz para contrarrestar la hipoglucemia.

Se cree también que es pertinente destacar las preferencias individuales, en este sentido, si a un individuo con DMT1 le interesa la realización de EO, lo ideal sería combinarlo con algunos de los modelos anteriormente expuestos o incrementando la intensidad del mismo, para así obtener un mejor rendimiento durante la actividad y posterior a ésta, y más importante aún, las sugerencias en relación al tiempo en que se realiza la actividad, así como los niveles de glucosa sanguínea antes, durante y después de ésta, de manera tal que, siempre que se tenga un control riguroso de la dieta y el control glicémico, cualquier tipo de ejercicio podrá realizarse en condiciones favorables.

5. Referencias

- Alarcón-Gómez, J., Calatayud, J., Chulvi-Medrano, I., Martín-Rivera, F. (2021). Effects of a HIIT protocol on cardiovascular risk factors in a type 1 diabetes mellitus population. *International Journal Environmental Res Public Health*, 18(1262), 1–12.
- American Diabetes Association. (2002). Position statement: Diabetes mellitus and exercise. *Diabetes Care* 25 (Supl 1), S64.
- American Diabetes Association. (2017). Standards of medical care in diabetes. *Diabetes Care*, 40, 48–55.
- Baumgard, L. H., Hausman, G.J., Sanz-Fernandez. M. V. (2016). Insulin: Pancreatic secretion and adipocyte regulation. *Domestic Animal Endocrinology*. 54,76–84.
- Brownlee, M. (2005). The pathobiology of diabetic complications: a unifying mechanism.
- Bustos-Viviescas, B., Acevedo-Mindiola, A., y García, C. (2022). Reflexión crítica sobre los términos “aeróbico y anaeróbico utilizados en fisiología del ejercicio”. *Gac Méd Caracas*, 130(1):182-188.
- Campbell, M. D., West, D. J., Bain, S. C., Kingsley, M. I. C., Foley, P., Kilduff, L., et al. (2015). Simulated games activity vs continuous running exercise: A novel comparison of the glycemic and metabolic responses in T1DM patients. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(2), 216–22.
- Castellanos-Vega, R., del P., y Cobo-Mejía, E. A. (2023). Efectos de la actividad física en la calidad de vida relacionada con la salud en personas mayores con diabetes mellitus. Revisión sistemática de la literatura y meta análisis. *Retos*, 47, 859–865. <https://doi.org/10.47197/retos.v47.96068>
- Chamari, K., Padulo, J. (2016). Términos “aeróbico y anaeróbico” utilizados en fisiología del ejercicio - una reflexión crítica sobre la terminología. *PubliCE*.
- Chen, P., Yao, F., Lu, Y., Peng, Y., Zhu, S., Deng, J., et al. (2022). Single-Cell Landscape of Mouse Islet Allograft and Syngeneic Graft. *Frontiers in Immunology*, 13.
- Chulvi-Medrano, I., y Solà-Muñoz, S. (2010). Programa de acondicionamiento neuromuscular en la diabetes mellitus 2. *Revista internacional de medicina y ciencias de la actividad física y del deporte*, 10(37), 77-92.
- Cockcroft, E. J., Narendran, P., Andrews, R. C. (2020). Exercise-induced hypoglycaemia in type 1 diabetes. *Experimental Physiology*., 105(4), 590–9. <https://doi.org/10.1113/EP088219>
- Díaz-Venegas, C., Schneider, D. C., Myrskylä, M., Mehta, N. K. (2017). Life expectancy with and without cognitive impairment by diabetes status among older Americans. *PLoS One*, 12(12).
- Farinha, J. B., 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.
- Farinha, J. B., Ramis, T. R., Vieira, A. F., Macedo, R. C. O., Rodrigues-Krause, J., Boeno, F. P., et al. (2018). Glycemic, inflammatory and oxidative stress responses to different

high-intensity training protocols in type 1 diabetes: A randomized clinical trial. *Journal of Diabetes Complications*, 32(12), 1124–32.

French, D. N., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Spiering, B. A., Judelson, D. A., Hoffman, J. R., et al. (2007). Anticipatory responses of catecholamines on muscle force production. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 94–102.

Hutchison-Salazar, L., Niño-Méndez, O., Quintero-Turriago., y Peinado-Rincón, E. (2023). Lactato: una reflexión crítica a la terminología aeróbica y anaeróbica del ejercicio. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 3(2), 183-200.

International Diabetes Federation, IDF. (2021). *Diabetes Atlas*. 10th ed.

Jauregui-Ulloa, E., y López, J. (2015). *Guía para la prescripción del ejercicio en individuos con diabetes mellitus*. Guadalajara, México.

Kahanovitz, L., Sluss, P. M., & Russell, S. R. (2017). Type 1 diabetes – a clinical perspective. *Point Care*, 16, 37–40.

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, 345–364.

Lee, A. S., Johnson, N. A., McGill, M. J., Overland, J., Luo, C., Baker, C. J., et al. (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), 2281–8.

Lu, X., Zhao, C. (2020). Exercise and Type 1 Diabetes. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1228(107), 107–21.

Minnebeck, K., Vorona, E., Zinn, S., Gellner, R., Hinder, J., Brand, S. M., et al. (2021). 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*, 21(8), 1193–203.

Murillo, S., Brugnara, L., Servitja, J. M., & Novials, A. (2022). High Intensity Interval Training reduces hypoglycemic events compared with continuous aerobic training in individuals with type 1 diabetes: HIIT and hypoglycemia in type 1 diabetes. *Diabetes & metabolism*, 48(6), 101361.

Pedersen, B. K., Saltin, B. (2015). Exercise as medicine - Evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 3(25):1–72.

Pereira, W. V. C., Vancea, D. M. M., de Andrade-Oliveira, R., de Freitas, Y. G. P. C., Lamounier, R. N., Silva Júnior, W. S., Fioretti, A. M. B., Macedo, C. L. D., Bertoluci, M. C., & Zagury, R. L. (2023). 2022: Position of Brazilian Diabetes Society on exercise recommendations for people with type 1 and type 2 diabetes. *Diabetology & metabolic syndrome*, 15(1), 2.

Petschnig, R., Wagner, T., Robubi, A., & Baron, R. (2020). Effect of Strength Training on Glycemic Control and Adiponectin in Diabetic Children. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(10), 2172–2178.

Pinsker, J., Kraus, Amy., Gianferante, Danielle., Schoenberg, Benjamin., Singh, Satbir., Ortiz, Hallie., Dassau, Eyal., & Kerr, David. (2016). Techniques for Exercise Preparation

and Management in Adults with Type 1 Diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*, xxx, 1–6

Reddy, R., Wittenberg, A., Castle, J., El Youssef, J., Winters-Stone, K., Gillingham, M., et al. (2019). Effect of aerobic and resistance exercise on glycemic control in adults with type 1 diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*, 43(6), 406–14.

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., Petz, A., ... Laffel, L. M. (2017). Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *The lancet. Diabetes & endocrinology*, 5(5), 377–390.

Riddell, M. C., Li, Z., Gal, R. L., Calhoun, P., Jacobs, P. G., Clements, M. A., Martin, C. K., Doyle Iii, F. J., Patton, S. R., Castle, J. R., Gillingham, M. B., Beck, R. W., Rickels, M. R., & T1DEXI Study Group (2023). Examining the Acute Glycemic Effects of Different Types of Structured Exercise Sessions in Type 1 Diabetes in a Real-World Setting: The Type 1 Diabetes and Exercise Initiative (T1DEXI). *Diabetes care*, 46(4), 704–713.

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.

Romeres, D., Olson, K., Carter, R., Cobelli, C., Man, C. D., Basu, A., et al. (2020). Hyperglycemia but not hyperinsulinemia is favorable for exercise in type 1 diabetes: A pilot study. *Diabetes Care*, 43(9), 2176–82.

Rowan, C. P., Riddell, M. C., Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (2017). Aerobic Exercise Training Modalities and Prediabetes Risk Reduction. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(3), 403–412.

Scott, S. N., Cocks, M., Andrews, R. C., Narendran, P., Purewal, T. S., Cuthbertson, D. J., et al. (2019). High-Intensity Interval Training Improves Aerobic Capacity Without a Detrimental Decline in Blood Glucose in People with Type 1 Diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 104(2), 604–12.

Scott, S. N., Shepherd, S. O., Andrews, R. C., Narendran, P., Purewal, T. S., Kinnaick, 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*, 42(12), 2330–2333.

Sigal, R. J., Yardley, J. E., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Goldfield, G. S., Donovan, L., Malcolm, J., Hadjiyannakis, S., Edwards, A. L., Gougeon, R., Wells, G. A., Pacaud, D., Woo, V., Ford, G. T., Coyle, D., Phillips, P., Doucette, S., Khandwala, F., Kenny, G. P., & READI Trial Investigators (2023). The Resistance Exercise in Already Active Diabetic Individuals (READI) Randomized Clinical Trial. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 108(5), e63–e75.

Spencer M.R., Gastin P.B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(1), 157-62.

Tonoli, C., Heyman, E., Roelands, B., Buyse, L., Piacentini, F., Berthoin, S., Bailey, S., Pattyn, N., & Meeusen, R. (2015). BDNF, IGF-I, Glucose and Insulin during Continuous

and Interval Exercise in Type 1 Diabetes. *International journal of sports medicine*, 36(12), 955–959.

Wróbel, M., Gołaś, A., Rokicka, D., Pyka, Ł., Szewczyk, M., Stołtny, T., et al. (2022). The influence of resistance training on muscle strength, irisin concentration, and metabolic parameters in type 1 diabetic patients. *Endokrynologia Polska*, 73(1), 96–102.

Wróbel, M., Rokicka, D., Czuba, M., Gołaś, A., Pyka, Ł., Greif, M., et al. (2018). Aerobic as well as resistance exercises are good for patients with type 1 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 144, 93–101.

Yardley, J. E., Sigal, R. J., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Kenny, G. P. (2013). Resistance exercise in type 1 diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*, 37(6), 420–6.

Zhao, L., Dong, M., Wang, D., Ren, M., Zheng, Y., Zheng, H., Li, C., & Gao, H. (2018). Characteristic Metabolic Alterations Identified in Primary Neurons Under High Glucose Exposure. *Frontiers in cellular neuroscience*, 12, 207.