

Carlos Maza Mantilla

TRABAJO DE FIN DE GRADO

***La influencia del
ejercicio físico en el
control glucémico de
adolescentes y adultos
jóvenes con diabetes
mellitus tipo 1***

Tutores: Álvaro Díaz y Martina Serrano

Curso: 2024-2025

Grado: Enfermería

AVISO RESPONSABILIDAD UC

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido. Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición. Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido. La Universidad de Cantabria, el Centro, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado, así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

“Al llegar a la adolescencia, se deja atrás un periodo de desarrollo: la infancia, en el que es necesario un control más estricto por parte de los cuidadores, debido al desconocimiento del menor sobre la enfermedad, asociado a una rutina muchas veces ineficaz y una actividad física intermitente e impredecible”.

“La adolescencia es una etapa en la que la participación en deportes sigue siendo una actividad recreativa importante, que mejora la interacción social, además de colaborar en un buen control glucémico. No obstante, se considera esta etapa la apropiada para comenzar a introducir una formación más técnica y precisa sobre la diabetes mellitus tipo 1 (DM1) por diversos factores: la progresiva adquisición de una madurez adecuada para comprender y manejar las distintas situaciones a las que se enfrenten y la aceleración de un metabolismo y cualidades físicas que se asemejan cada vez más a las de un adulto. Es por eso por lo que esta revisión bibliográfica se ha dedicado a adolescentes y adultos jóvenes con esta enfermedad. ”

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | 3 |
| 1. RESUMEN | 4 |
| 2. ABSTRACT | 4 |
| 3. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 3.1. Objetivo | 5 |
| 3.2. Metodología | 6 |
| 3.3. Descripción de los capítulos | 6 |
| 4. CAPÍTULO 1. EPIDEMIOLOGÍA DE LA DM1 | 7 |
| 5. CAPÍTULO 2. GLUCEMIA Y EJERCICIO | 7 |
| 5.1. Efectos de la actividad física sobre la Hb1Ac | 9 |
| 6. CAPÍTULO 3. EJERCICIO FÍSICO AERÓBICO | 11 |
| 7. CAPÍTULO 4. EJERCICIO FÍSICO DE FUERZA Y ANAERÓBICO | 14 |
| 8. CAPÍTULO 5. MANEJO DE LA INSULINA | 15 |
| 8.1. Manejo de insulina en deportes aeróbicos | 15 |
| 8.1.1. Estrategias para prevenir la hiperinsulinemia/hipoglucemias durante y después del ejercicio | 16 |
| 8.2. Manejo de insulina en deportes anaeróbicos | 17 |
| 8.2.1. Estrategias para prevenir la hipoinsulinemia/hiperglucemias durante y después del ejercicio | 18 |
| 9. CAPÍTULO 6. NUTRICIÓN Y EJERCICIO FÍSICO | 19 |
| 10. CAPÍTULO 7. EJERCICIO FÍSICO EN AYUNAS | 23 |
| 11. CONCLUSIONES | 25 |
| 12. BIBLIOGRAFÍA | 26 |

1. RESUMEN

Este trabajo de fin de grado aborda la influencia del ejercicio físico sobre el control glucémico de adolescentes y adultos jóvenes con DM1. A través de una revisión bibliográfica, se analizan los efectos de diferentes modalidades de entrenamiento (resistencia, fuerza y aeróbico) sobre la sensibilidad a la insulina y el manejo glucémico en esta población.

Los resultados indican que el ejercicio aeróbico regular puede reducir los niveles de hemoglobina glicosilada (HbA1c) y mejorar la capacidad aeróbica, mientras que el entrenamiento de fuerza contribuye al aumento de la masa muscular y a la mejora de la sensibilidad insulínica debido al incremento de receptores GLUT-4. Sin embargo, el manejo de la insulina durante el ejercicio presenta riesgos potenciales, como la hipoglucemia o hiperglucemia, lo que requiere estrategias individualizadas según el tipo de ejercicio y el estado físico del individuo.

Asimismo, se explora el impacto del ejercicio en ayunas, destacando tanto sus beneficios metabólicos como sus riesgos asociados. Se concluye que la práctica de ejercicio debe ser cuidadosamente planificada, considerando la variabilidad individual y contando con el apoyo de profesionales de salud para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos en adolescentes y adultos con DM1.

Palabras clave: ejercicio físico, control glucémico, adolescentes, adultos, DM1, insulina, hemoglobina glicosilada, ejercicio aeróbico, entrenamiento de fuerza y ayunas.

2. ABSTRACT

This final degree project examines how physical exercise influences glycemic control in teenagers and young adults diagnosed with DM1. Through a comprehensive literature review, it evaluates the effects of various training methods (endurance, strength, and aerobic exercises) on insulin sensitivity and glycemic regulation within this demographic.

Findings suggest that consistent aerobic exercise may lead to a decrease in glycated hemoglobin (HbA1c) levels and enhance aerobic capacity, while strength training supports muscle mass development and boosts insulin sensitivity by increasing the number of GLUT-4 receptors. Nevertheless, managing insulin during physical activity presents challenges, including potential episodes of hypoglycemia or hyperglycemia, necessitating tailored approaches based on the exercise type and the individual's physical status.

Additionally, the study investigates the implications of exercising in a fasting state, emphasizing both its potential metabolic advantages and the risks involved. The research concludes that exercising should be systematically planned, taking into account individual differences and receiving guidance from healthcare professionals to ensure safety and optimize health outcomes in adolescents and adults with DM1.

Keywords: physical exercise, glycemic control, teenagers, adults, DM1, insulin, glycated hemoglobin, aerobic exercise, strength training and fasting.

3. INTRODUCCIÓN

La afirmación de que la práctica regular de ejercicio físico supone un importante beneficio para la salud de la población general se basa en dos observaciones epidemiológicas: el retraso de la aparición de enfermedades cardiovasculares y la mejoría en el bienestar y la calidad de vida (1).

Esto no es diferente para personas con DM1. En la población joven, el ejercicio físico es útil para mejorar, no solo los aspectos mencionados anteriormente sino también el control glucémico, la capacidad aeróbica, el desarrollo muscular, el perfil lipídico y, aunque de manera menos sistemática, HbA1c (2,3).

A pesar de la amplia bibliografía que muestra la evidencia sobre los beneficios del ejercicio sobre los niveles de glucosa sanguínea, el 60% de los diabéticos tipo 1 no realizan ningún tipo de actividad física (4) y, del 40% restante, la gran mayoría no cumplen con las recomendaciones publicadas por expertos (3). En muchos casos, el temor a la hipoglucemia derivada del ejercicio conlleva a una normalización del sedentarismo (2).

La DM1, enfermedad de carácter autoinmune, se caracteriza por la incapacidad del páncreas para producir insulina debido a la autodestrucción de una cantidad suficiente de células beta (5–7). El tratamiento con insulina exógena de por vida es irremplazable para esta población, pero, aun así, requiere un control periódico de los niveles de glucosa en sangre y la implementación de diversas estrategias para evitar complicaciones a largo plazo (neuropatía periférica, nefropatía, hipertensión, retinopatía...) En este contexto, la actividad física se ha identificado como un factor clave en la mejora de la calidad de vida y en el control metabólico de los pacientes con DM1 (4,5).

3.1. Objetivo

El objetivo de este trabajo es estudiar los beneficios y los posibles riesgos asociados con la práctica de ejercicio en adolescentes y adultos jóvenes con DM1. Para ello, se ha realizado una revisión sistemática de la literatura científica, identificando las pautas recomendadas en base al tipo, duración e intensidad de la actividad. Se ha pretendido proporcionar un enfoque integral que permita a esta población insulinodependiente integrar el ejercicio en su vida cotidiana de manera que contribuya, junto con una correcta alimentación y el tratamiento insulínico, a mejorar el control de su salud.

Comenzando por aportar recomendaciones generales basadas en evidencia científica sobre la práctica adecuada de ejercicio físico y hábitos de vida saludables para la población con DM1, se pretende ir un paso más allá, queriendo este trabajo servir como información de calidad para aquellos diabéticos que incorporan más horas de entrenamiento o un nivel de rendimiento mayor que la media de la población general.

Esta revisión bibliográfica puede servir como plan de cuidados genérico para aquellas personas con DM1 que estén dando sus primeros pasos en el mundo del deporte, que hayan debutado recientemente con la enfermedad o, para aquellos más expertos que, a la vez que refuerzan conocimientos básicos, puedan aprender nuevas estrategias para el manejo de la DM1 a la hora de realizar deporte.

3.2. Metodología

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica con el fin de sintetizar la información científica encontrada de acuerdo con los objetivos del apartado anterior. Para ello se ha utilizado la base de datos PubMed como fuente principal de información, a través de la biblioteca digital de Cantabria. De manera complementaria, se ha recurrido a otras bases de datos, seleccionando artículos tanto en español como en inglés. Estas bases de datos han sido: Elsevier, American Diabetes Association, Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, ScienceDirect, Asociación Mexicana de Diabetes, Organización Mundial de la Salud (OMS),

En una primera búsqueda se utilizaron las palabras clave: *type 1 diabetes, exercise, endurance training, strength training, teenagers, adults*. Siendo enunciadas junto al descriptor booleano “AND”. Posteriormente se han realizado búsquedas con las palabras “Hb1Ac”, “HIIT”, “MICT”, “insulin” y “fasting”.

Como límites de búsqueda se han utilizado: publicaciones desde el año 2005; disponibles como “free full text” y con “Abstract”. Tras realizar una lectura crítica de varios artículos científicos, se terminaron seleccionando 44 de ellos, descartando estudios que no cumplían los criterios anteriores y que incluían exclusivamente niños.

3.3. Descripción de los capítulos.

A continuación, se sintetiza de forma breve la información científica recogida en los distintos 7 capítulos de contenido de este trabajo académico:

Capítulo 1. Epidemiología de la DM1: Este capítulo aborda la prevalencia y distribución de la diabetes mellitus tipo 1 (DM1) a nivel mundial, enfocándose en su incidencia en adolescentes y adultos jóvenes. Se destacan factores de riesgo, diferencias regionales y patrones demográficos asociados.

Capítulo 2. Glucemia y ejercicio: Se analiza cómo el ejercicio físico influye en los niveles de glucosa en sangre, describiendo los mecanismos mediante los cuales el ejercicio mejora la sensibilidad a la insulina y el control glucémico en personas con DM1.

Capítulo 3. Ejercicio físico aeróbico: Se exploran los beneficios del ejercicio aeróbico en el control de la diabetes tipo 1, con especial atención a la reducción de la HbA1c y el impacto sobre la capacidad aeróbica.

Capítulo 4. Ejercicio físico de fuerza y anaeróbico: Se detallan las adaptaciones fisiológicas derivadas de entrenamientos de fuerza y anaeróbicos, incluyendo el aumento de la masa muscular y la sensibilidad a la insulina.

Capítulo 5. Manejo de la insulina: Este capítulo proporciona estrategias para el ajuste de la insulina antes, durante y después del ejercicio, previniendo episodios de hipoglucemia o hiperoglucemia.

Capítulo 6. Nutrición y ejercicio físico: Se abordan recomendaciones dietéticas para equilibrar el consumo de carbohidratos y la administración de insulina en el contexto del ejercicio físico.

Capítulo 7. Ejercicio físico en ayunas: Se analizan los riesgos y beneficios de realizar actividad física en ayunas en adolescentes y adultos con DM1, considerando su impacto en el metabolismo glucémico.

4. CAPÍTULO 1. EPIDEMIOLOGÍA DE LA DM1

Si bien es la diabetes tipo 2 (DM2) la que ocupa la mayor parte de los casos de diabetes en adultos, la DM1 representa el 85% de los casos de diabetes en jóvenes menores de 20 años a nivel mundial (8). En España hay 3,07 millones de personas diabéticas, de las cuales el 3,4% tienen DM1 (9). De los 537 millones de diabéticos que hay en el mundo (10), algo menos del 10% tienen DM1 (11).

La DM1 puede aparecer en cualquier edad, incluso en el recién nacido, aunque presenta un pico de incidencia en la pubertad (10). Tres cuartas partes de los casos se diagnostican en personas menores de 18 años (12). Aunque recientemente se han publicado varios estudios que exponen estrategias para la predicción y prevención de la DM1, las cuales se basan en evitar la combinación de ciertos factores infecciosos, dietéticos y humorales que se cree que aumentan el riesgo de desarrollar la enfermedad (5), lo cierto es que no existe una evidencia significativa sobre ello y que el papel de la genética tiene un peso extremadamente importante en la aparición de la DM1, además del género, la edad, la región geográfica, la etnia y las características estacionales (8).

Aunque la mayoría de las enfermedades autoinmunes predominan en las mujeres, lo cierto es que, en mayores de 15 años, tiene una incidencia mayor en hombres. Sin embargo, en menores de 15 años, los resultados se igualan, dependiendo de si se trata de países con alta o baja incidencia de DM1. Aunque actualmente la incidencia de DM1 es mayor en países de altos ingresos, para el año 2040 se predicen entre 13,5 y 17,4 millones de casos nuevos, con un mayor aumento en países de ingresos medios-bajos. Los países subdesarrollados ocupan ahora el lugar más bajo en la escala de diagnosticados de DM1 pero, en su contra juegan la falta de recursos, de sistemas sanitarios sólidos y la escasa formación, de forma que, en muchos casos, personas jóvenes que presentan un coma diabético mueren antes de ser diagnosticados correctamente de DM1. Esto ayuda a explicar la falta de información sobre estos países (6,10,13).

La incidencia de DM1 también varía en función de las razas. En general, los blancos no hispanos encabezan la tabla de mayor incidencia de la enfermedad, seguidos de la raza negra, los blancos hispanos y, por último, los asiáticos. También se ha publicado que el verano es la estación menos frecuente en cuanto a un debut de diabetes mellitus y se muestra una mayor incidencia en los meses fríos (13).

5. CAPÍTULO 2. GLUCEMIA Y EJERCICIO

Al hacer ejercicio, utilizamos una gran cantidad de glucosa como combustible. Nuestro cuerpo almacena glucosa tanto en el hígado, órgano donde también se sintetiza una cierta cantidad de esta, como en las células musculares. Si pensamos en una persona joven con un peso promedio (70 kg), se sabe que esta puede almacenar en torno a 160 gramos de glucosa en el hígado, 700 en los músculos y apenas 4-6 gramos en la sangre, la cual precisa de insulina para ser captada e introducida en las células a través de los canales Glut-4 y así servir de aporte energético ((14,15)).

Para beneficio de los diabéticos, el ejercicio también permite que una parte de la glucosa libre en sangre sea captada por las células, ayudando a bajar los niveles de glucosa en sangre. Esto se debe a que, al realizar reiteradas contracciones musculares, aumenta la permeabilidad de la

membrana de las células y aumenta el número de canales Glut-4, provocando una mayor permeabilidad a sustancias circulantes en sangre. Es lo que se conoce como aumento de sensibilización a la glucosa por parte de las células, y puede durar hasta pasadas 48 horas desde el final de la actividad. Este fenómeno, sumado al aumento de consumo de glucosa por parte de los músculos esqueléticos implicados en la actividad, conforman la base de los enormes beneficios que se ha demostrado que experimentan las personas con DM1 físicamente activas (14,15).

El problema que puede derivar de esta acción es que los niveles de glucosa sanguínea disminuyan hasta provocar una hipoglucemia. El páncreas de las personas no diabéticas reduce la producción de insulina cuando detecta un alto consumo de glucosa, reacción que no tiene lugar en las personas diabéticas, pues su páncreas no segregá insulina y la práctica totalidad de los niveles de insulina en sangre son introducidos de forma exógena. Son ellos quienes tienen que aprender a regular las dosis de insulina, las ingestas o la zona de inyección en base al tipo, duración e intensidad del ejercicio (16).

Se debe tener en cuenta que:

- El ejercicio con exceso de insulina en sangre puede provocar una hipoglucemia por sumar al efecto hipoglucemiante de la actividad física una cantidad excesiva de insulina, que agota la glucosa sanguínea a la vez que limita la movilización de glucosa en hígado y músculos (16–18).
- El ejercicio con déficit de insulina en sangre puede ser causa de una hiperglucemia post-ejercicio. El organismo necesita una mínima cantidad de insulina incluso al hacer ejercicio. Además, cuanta menos insulina haya en la sangre, el hígado fabrica más glucosa (gluconeogénesis) a la vez que envía sus reservas de glucógeno a la sangre, pues detecta que no está llegando la suficiente glucosa a las células. De esta forma se acumula la glucosa en la sangre y se produce una hiperglucemia (16).

Al hilo de estas recomendaciones básicas, la ADA (Asociación Americana de Diabetes) y el ACSM (Colegio Americano de Medicina Deportiva) publicaron las 3 normas básicas en las que debe basar el ejercicio una persona con DM1 (*Ver tabla 1*).

Tabla 1. Normas generales de actuación para el ejercicio de la ADA y el ACSM para deportistas con DM1. Tomado de Coldberg S., 2003.

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Control metabólico antes del ejercicio | Evitar el ejercicio si los niveles de glucosa están por encima de los 250 mg/dl y está presente la cetosis, y tener precaución si los niveles de azúcar están >300 mg/dl y no hay cetosis. Ingerir carbohidratos si los niveles de glucosa están por debajo de 100 mg/dl |
| Monitorizar la glucosa en sangre antes y después del ejercicio | Identificar cuándo son necesarios los cambios en el régimen de insulina o en la ingesta de alimentos. |
| Ingesta de alimentos | Aprender la respuesta glucémica ante diferentes condiciones del ejercicio. |

| | |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Mantener disponible el acceso a alimentos con carbohidratos durante y después del ejercicio. |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------|

La realización de ejercicio físico, además de mejorar la homeostasis de la glucosa y la sensibilización a la insulina, mejora la capacidad oxidativa muscular y aumenta la presencia de AMPK (proteína quinasa activada por AMP) en el músculo esquelético. La AMPK es proteína que se activa ante bajos niveles de ATP y que tiene gran importancia en la captación de glucosa y ácidos grasos libres (19).

5.1. Efectos de la actividad física sobre la Hb1Ac

La prevención de la hiperglucemia ocasionada por la DM1 es sumamente importante, ya que, si no se maneja bien, puede ocasionar complicaciones macrovasculares (cardiopatía isquémica, enfermedad arterial periférica y accidente cerebro vascular) y microvasculares (retinopatías, neuropatía y nefropatía). En este contexto, las pruebas de HbA1c se utilizan con frecuencia para evaluar el control glucémico a largo plazo. En la actualidad, menos de un tercio de los adultos con DM1 no alcanzan los niveles adecuados de HbA1c (<7%) o no se realizan los controles estandarizados (3). Los deportistas con DM1 deben realizarse una determinación de HbA1c cada 3 o 4 meses para evaluar su control glucémico (20).

Si bien es cierto que en DM1 no hay tanta evidencia como en la DM2 que permita afirmar que la práctica de deporte está asociada a una mejora sistemática de la HbA1c, hay varios estudios que han reflejado una reducción de esta en grupos de personas que realizan deporte frente a grupos sedentarios (21).

En un estudio realizado por Ramalho y cols.(22) aunque no se pudo establecer una reducción significativa de la HbA1c por el escaso tiempo de intervención (12 semanas), se encontró una tendencia claramente descendente en un grupo de personas adultas con DM1 que practicaban running de forma aeróbica 3 veces por semana (Grupo B) frente a un grupo control, que realizaba caminatas (Grupo A) (Ver Tabla 2). Si hablamos de adolescentes, el estudio de Salem y cols.(23) tras 24 semanas de intervención, encontró descensos significativos en los valores de HbA1c. En este estudio 196 adolescentes con DM1 son clasificados en 3 grupos: el grupo A no se somete a ningún programa de ejercicio (grupo sedentario); el grupo B acude a entrenamientos una vez a la semana durante 6 meses; el grupo C realiza estos mismos entrenamientos 3 veces por semana durante el mismo tiempo. Los resultados de los niveles de Hb1Ac mejoraron significativamente en los grupos B y C. En cambio, el Grupo A se apreció un ligero aumento, aunque no fuese estadísticamente significativo (Fig. 1).

Otro estudio, que aplicó un programa de entrenamiento de intervalos de alta intensidad de 7 semanas en bicicleta, fue el Harmer AR et al. (24) que reunió a 15 individuos (8 con DM1 y 7 sanos como grupo control). En los pacientes con DM1 mejoró sensiblemente la Hb1Ac (Preentrenamiento [8,6%] vs postentrenamiento [8,1%]).

La revisión sistemática de Jane E. et al (25) sugiere que la práctica deportiva se asocia a una disminución del 0,78% de la HbA1c y de las unidades de insulina requeridas en -0,4 UI/kg. Por otro lado, en un metaanálisis previo a este, solo resultó significativo el descenso de la HbA1c provocado por la práctica de ejercicio aeróbico (26).

En definitiva, se observa cómo tanto realizando entrenamientos de intervalos de alta intensidad como entrenamientos puramente aeróbicos, descienden los niveles de Hb1Ac. Aunque sean necesarios más estudios en distintos contextos, hoy en día se considera el ejercicio físico como una herramienta fundamental para mantener un correcto control glucémico.

Tabla 2. Niveles de Hb1Ac antes y después de 12 semanas de entrenamientos de resistencia, en comparación con entrenamientos de escasa demanda de oxígeno. *Tomado de Ramalho et al., 2006.*

Blood chemistry before and after 12 weeks of exercise training in Groups A and B

| | Group A | | Group B | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Pre-training | Post-training | Pre-training | Post-training |
| Fasting glycemia (mg/dl) | 229.8 ± 118.0 | 270.0 ± 109.0 | 141.5 ± 117.0 | 180.6 ± 87.2 |
| HbA1c (%) | 8.7 ± 1.6 | 9.8 ± 1.8* | 8.2 ± 2.9 | 7.6 ± 1.6 |
| Frutosamine (mmol/L) | 4.0 ± 0.7 | 3.8 ± 0.4 | 3.6 ± 0.8 | 3.4 ± 0.5 |
| Total cholesterol (mg/dl) | 176.4 ± 35.0 | 181.0 ± 36.1 | 156.6 ± 29.9 | 165.0 ± 44.2 |
| HDL-c (mg/dl) | 62.6 ± 9.1 | 64.4 ± 8.2 | 53.5 ± 9.2 | 54.3 ± 10.9 |
| LDL-c (mg/dl) | 98.1 ± 33.4 | 100.7 ± 31.8 | 89.3 ± 23.1 | 94.8 ± 40.6 |
| Triglycerides (mg/dl) | 81.4 ± 26.2 | 75.8 ± 17.5 | 69.2 ± 15.9 | 79.0 ± 23.2 |

* $p < 0.05$.

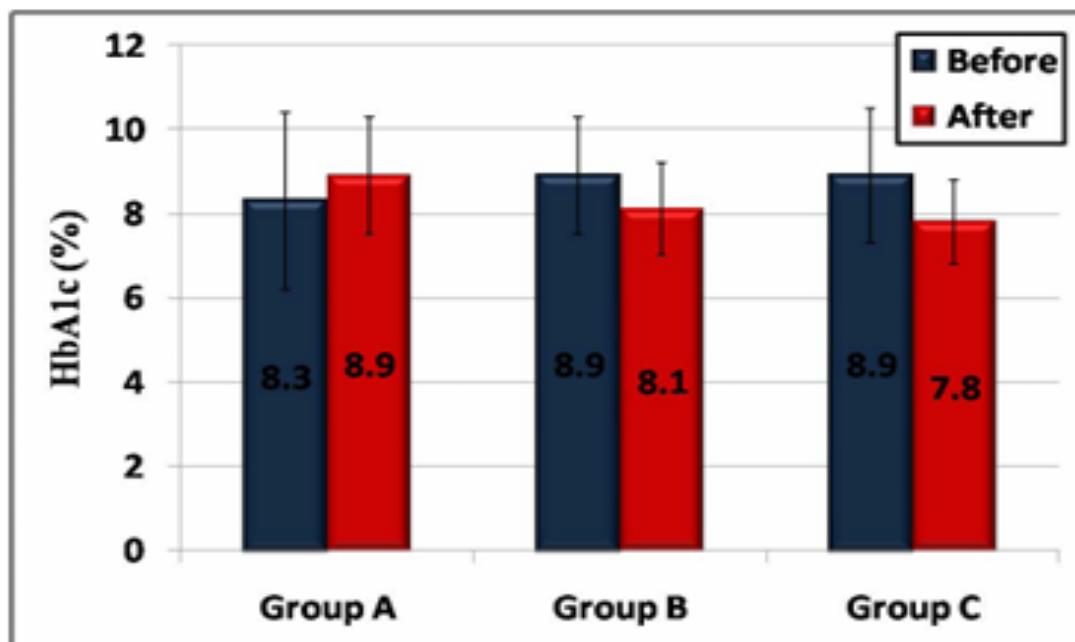


Figure 1 A reduction in mean level of HbA1c in both groups B & C ($p = 0.03, 0.01$ respectively), while no change in group A($p = 0.2$).

Figura 1. Reducción del nivel de Hb1Ac en los grupos B y C después de 6 meses de entrenamiento físico. No hay mejoría en este sentido en el Grupo A (grupo sedentario). Tomado de Salem MA. et al., 2010.

6. CAPÍTULO 3. EJERCICIO FÍSICO AERÓBICO

Se define ejercicio aeróbico como toda actividad física que implique movimientos rítmicos durante un tiempo prolongado, aumentando la frecuencia cardíaca y la respiración, mejorando así la oxigenación a los músculos activos (27,28). Ejemplos de ello son el ciclismo, el senderismo, la natación, la carrera a pie sostenida o *running*, etc.

Para las personas diabéticas, el ejercicio aeróbico adquiere, a veces, una connotación negativa, asociándose a hipoglucemias. La realidad es que, en la literatura actual, se han hecho evidentes los múltiples beneficios que conlleva la práctica adecuada de ejercicio aeróbico. Sin embargo, no todo el mundo está dispuesto a seguir las recomendaciones de los profesionales de la salud, así como acudir a ellos buscando ayuda o simplemente supervisión.

Estas son algunas pautas básicas enunciadas por profesionales de la salud, que la población con DM1 debe tener en cuenta a la hora de realizar ejercicio físico:

- **Mediciones de glucosa capilar.** Sobre todo, las primeras veces que se practica deporte y siempre a expensas del criterio de su médico, podría incluir:
 - Medición previa. No debe practicarse deporte con niveles inferiores a 70 mg/dl (hipoglucemia) ni por encima de 250 — 300 en algunas guías — (hiperglucemia franca) (29).
 - Durante la actividad: cada 20-30 minutos si la actividad es de intensidad moderada-alta o cada hora si es de intensidad baja (29).
 - Al terminar la recuperación del ejercicio: cada 2-3 horas durante las primeras 12, antes de acostarse y, al menos, una determinación durante la noche (29).
- **Fases de calentamiento y enfriamiento.** La persona diabética debe tener muy en cuenta la importancia de realizar una fase de calentamiento y otra de enfriamiento antes y después de la actividad, respectivamente.
 - En los diabéticos se forman muchos más productos finales en el proceso de glucosilación que en las personas que no tienen la enfermedad. Estas sustancias son moléculas derivadas de la glucosa que se adhieren a los cartílagos y otras estructuras orgánicas y hacen que pierdan su flexibilidad habitual (29).
 - La fase de enfriamiento no es menos importante. Una persona con niveles de glucosa en sangre elevados es más propensa a la deshidratación que, sumado a la sudoración, puede causar un desfallecimiento si no se realiza una fase de enfriamiento que permita redirigir la sangre desde los músculos implicados en la actividad hacia la circulación general. Esto evita la acumulación de sangre en las_extremidades y protege a la persona diabética de la aparición de enfermedades cardiovasculares (29).

Son muchas las variables que permiten al deportista poder dar un enfoque u otro a su entrenamiento aeróbico, en función de sus objetivos y necesidades. A continuación, se analizarán la duración y la intensidad del ejercicio como principales variables de la actividad, y su papel sobre los niveles de glucosa en la sangre de una persona con DM1.

En un estudio en el que 50 niños y adolescentes de entre 10 y 18 años se sometieron a una sesión de 75 minutos de caminata continua hasta una frecuencia cardíaca de 140 latidos por minuto (intensidad moderada), se pudo observar cómo el 83% de los individuos experimentó una reducción de, al menos, un 25% del nivel de glucosa en sangre. El 30% presentaron hipoglucemia

(<60 mg/dl). De estos, el 86% habían iniciado la prueba con niveles iguales o inferiores a 120 mg/dl de glucosa plasmática (30).

Si revisamos los efectos de un ejercicio de mayor intensidad, lo que se conoce como alta intensidad intermitente (ejercicio de intensidad moderada alternado con intervalos al 70-80% de la frecuencia cardiaca máxima) estudios como el de Kym J (31) O Iscoel K. (32) han demostrado que los niveles de glucosa sanguínea se mantienen más altos tanto durante como después de la realización de la actividad, en comparación con un ejercicio de intensidad moderada como el mencionado en el caso anterior. Esta estabilización de los niveles de glucosa es debida a la presencia de altos niveles de catecolaminas, lactato, glucagón y hormona de crecimiento, principalmente. A estas hormonas se las conoce como hormonas contrarreguladoras o hiperglucemiantes.

Los resultados del estudio de Mitchell T. et al (33), en el cual comparan el efecto del ejercicio intenso al 80% de VO₂max (cantidad máxima de oxígeno que nuestro cuerpo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo) en un grupo de diabéticos frente a un grupo control, muestran cómo una hiperglucemia post-ejercicio se mantiene sostenida un 20% por encima de la basal durante 40 minutos tras la finalización de la actividad.

Hoy en día, no existe acuerdo a cerca del tipo de ejercicio, según su intensidad y duración, más seguro y efectivo para diabéticos tipo 1 (4,34–36). Por un lado, el entrenamiento continuo de moderada intensidad muestra mejoras en la aptitud cardiorrespiratoria y los niveles de HbA1c, pero, por otro lado, conlleva un mayor riesgo de hipoglucemia que un ejercicio en intervalos de alta intensidad (4,32,37) De hecho, el ejercicio de alta intensidad mantenido genera controversia entre los médicos, los padres y los propios pacientes. Y es que, si bien el ejercicio debe recomendarse en todas las edades como uno de los pilares fundamentales del tratamiento de la diabetes, por mejorar el bienestar psicosocial, la salud cardiovascular, y ayudar a mantener un peso y una composición corporal ideales, una práctica prolongada de ejercicio a alta intensidad puede dificultar la regulación de los niveles de glucosa en sangre tanto durante como después de la actividad (36). Este riesgo es marcado principalmente en los adolescentes quienes, en su mayoría, no participan en programas de entrenamiento organizados y reglamentados, añadido a la administración de unas dosis de insulina fijas e inflexibles (37).

Habiendo revisado el efecto del ejercicio físico en los niveles de azúcar en sangre según su intensidad, podremos entender mejor la relación entre la práctica de estos y la aparición de hipoglucemias o hiperglucemias nocturnas el día de la realización del ejercicio.

Un estudio publicado en *The Journal of Pediatrics* tuvo como objetivo examinar el efecto del ejercicio físico de intensidad moderada sobre la hipoglucemia nocturna en 50 sujetos de 11 a 17 años. Para ello se realizaron sendas mediciones del nivel de glucosa sanguínea en dos días diferentes; un día incluía una sesión de ejercicio en una cinta de correr durante 75 minutos en intervalos de 15 minutos a 140 pulsaciones/minuto (intensidad moderada), y el segundo día fue de carácter sedentario (Fig.2) (37).

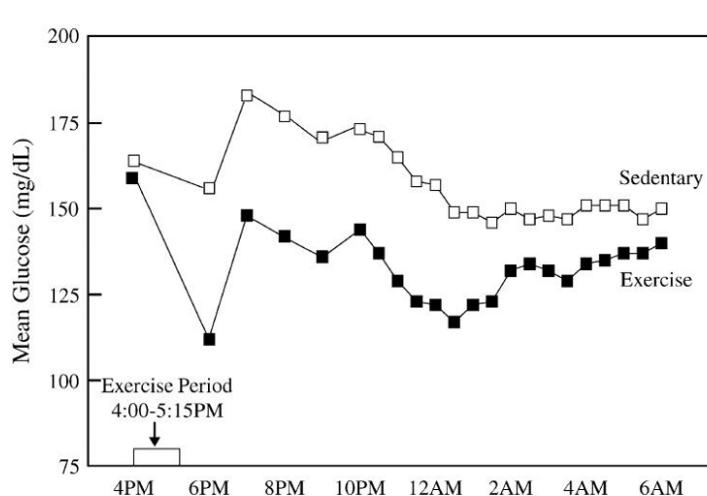


Figura 2. El nivel medio de glucosa fue similar en ambos días hasta antes de someterse a la actividad física del primer día (4PM). Después de completar el ejercicio y durante toda la noche, los niveles de glucosa se mantuvieron considerablemente más bajos el día de ejercicio que en el día sedentario. Se promediaron 131 mg/dl en la noche posterior al ejercicio y 154 mg/dl en la noche tras un día

de sedentarismo. La hipoglucemia se produjo solo en la noche de ejercicio en 13 sujetos (26%), solo en la noche sedentaria en 3 sujetos (6%) en ambas noches en 11 (22%) y en ninguna noche en 23 (46%). *Tomado de Tsalikian E. et al., 2005.*

Analicemos ahora un estudio que nos de información acerca de los niveles de glucemia durante la noche posterior a una actividad de tipo HIIT (entrenamiento con intervalos a alta intensidad). Este es el estudio de Scott S. et al. (38) en el cual se diferencian dos grupos de individuos sedentarios que, durante 6 semanas, se expondrán a entrenamientos de HIIT y MICT (entrenamiento continuo de intensidad moderada) respectivamente. Además de demostrarse una mejora del 14% y 15% respectivamente del VO₂pico o VO₂max en ambos grupos, se comprobó que el grupo HIIT pasó menos tiempo en rangos adecuados de glucemia las noches post ejercicio, debido a pequeños períodos en hiperglucemia.

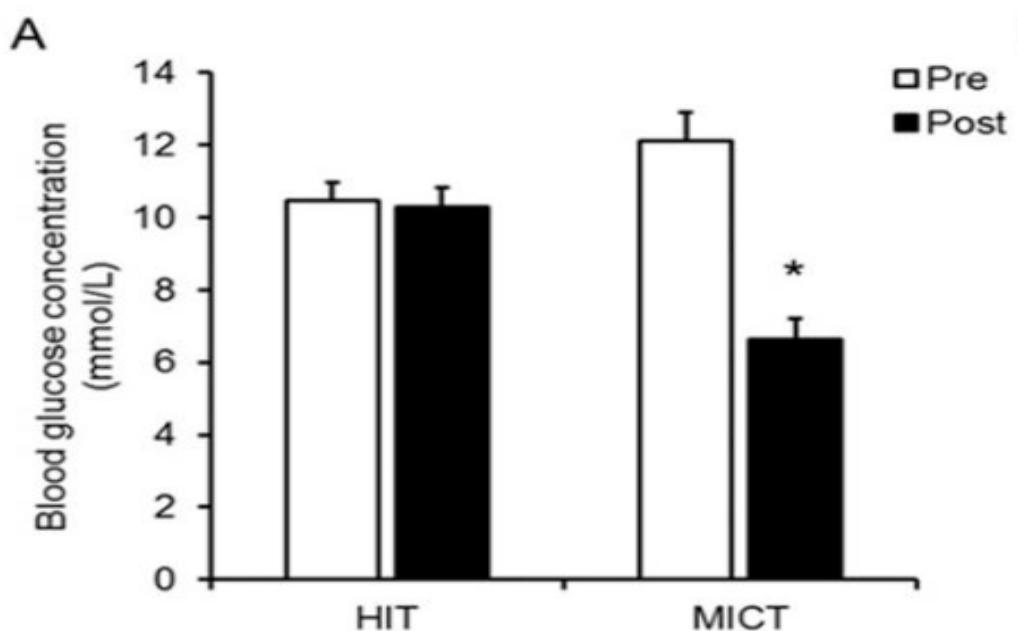


Figura 3. Durante las 6 semanas, se pudieron medir los niveles de glucemia capilar en el 86% de las sesiones MICT y el 69% de las sesiones HIIT. El descenso de la glucemia se muestra significativamente mayor en los individuos que realizaron entrenamientos tipo MICT. *Tomado de Scott S. et al., 2018.*

El hecho de que los entrenamientos de intervalos a alta intensidad acarreen un menor descenso del nivel de azúcar en sangre, el cual es propenso a mantenerse durante la noche, no debe ser siempre una conclusión negativa. Si bien no es recomendable pasar las noches en periodos de hiperglucemia por aumentar el riesgo de complicaciones a largo plazo, una persona tendente a la hipoglucemia y preocupada por este aspecto, puede entrenar este tipo de sesiones y, progresivamente, ir ajustando sus ingestas y dosis de insulina para mantener unos niveles de glucemia nocturnos que le permitan descansar de forma placentera.

Podemos afirmar que el ejercicio físico condiciona unos cambios hormonales destinados a conseguir la energía necesaria para la contracción muscular. En general, cuanto más intensa y breve sea la actividad, esta provocará menores caídas del azúcar en sangre por el efecto de ciertas hormonas hiperglucemiantes o contrarreguladoras. Las actividades más prolongadas en el tiempo y con menos intensidad, provocan una mayor disminución de la glucosa plasmática.

7. CAPÍTULO 4. EJERCICIO FÍSICO DE FUERZA Y ANAERÓBICO

En este apartado agrupamos dos tipos entrenamiento o actividad que se caracterizan por llevarse a cabo mediante esfuerzos que inducen contracciones musculares de alta intensidad, aumentando la fuerza, la masa muscular y la resistencia local, seguidas de un período de descanso o reposo. Esto se puede lograr mediante el uso de pesas libres, máquinas de pesas, bandas elásticas o el propio peso corporal si hablamos de entrenamientos de fuerza o hipertrofia, o fútbol, baloncesto, tenis o béisbol, pertenecientes a un grupo de deportes de potencia. Las adaptaciones fisiológicas a estos ejercicios incluyen aumento de la fuerza, mejoras en la capacidad anaeróbica de los músculos y aumento de sensibilidad a la insulina, ya que el aumento de la masa muscular se asocia con un incremento en el número de receptores GLUT-4, lo que facilita la captación de glucosa por parte de las células musculares (1,34,39)

Muchos deportes en los que compiten los adolescentes y personas jóvenes son deportes anaeróbicos, de un perfil bastante explosivo, lo que genera la secreción de hormonas contrarreguladoras mencionadas anteriormente, como el glucagón, el cortisol, la adrenalina y la hormona del crecimiento (GH). Por esto, las reducciones de insulina previas a la realización de estas actividades serán menores que si afrontamos un ejercicio de carácter aeróbico.

8. CAPÍTULO 5. MANEJO DE LA INSULINA

La insulina es una hormona, segregada por el páncreas, que regula la concentración de glucosa en sangre. Este capítulo está dedicado a analizar la influencia del ejercicio físico sobre los niveles de insulina en nuestro cuerpo. Se explorarán también estrategias que permiten prevenir episodios de hipoglucemia o hiperglucemia durante y después de la actividad física, así como recomendaciones basadas en la evidencia científica actual (40).

Antes de profundizar en este tema, es correcto enunciar unas recomendaciones básicas que todo diabético insulinodependiente debe saber antes de realizar ejercicio:

- Como se explicó anteriormente, al realizar una actividad física aumenta la sensibilidad de las células por la glucosa. No obstante, también lo hace con la insulina, pues se estimula el flujo sanguíneo subcutáneo y muscular, principalmente en los músculos directamente implicados en la actividad, donde se puede acelerar drásticamente la absorción y acarrear mayor riesgo de hipoglucemia. Es por esto por lo que debe evitarse la inyección de insulina en las zonas que se vayan a ejercitar inmediatamente (41,42)
- El calor y el frío, tanto local como ambiental, también afectan a la absorción de la insulina (41,42).
- Conservación de la insulina: La temperatura ideal para la conservación de insulina, sin haber sido utilizada aún, es de 2-8°C. No debe congelarse ni exponerse a altas temperaturas, pues perdería su efectividad. Una vez abierta, puede mantenerse a temperatura ambiente (14-30°C) por un tiempo de 28 a 42 días. La agitación excesiva (llevarla en una mochila mientras se corre o se monta en bicicleta) también puede afectar a su integridad (43,44).

8.1. Manejo de insulina en deportes aeróbicos

En los deportes aeróbicos se consume mayor cantidad de glucosa y son, por tanto, aquellos en los que se espera mayor disminución de los niveles de glucosa en sangre. Algunos ejemplos son: caminar, correr, montar en bicicleta, spinning, natación de larga distancia, esquí de fondo, remo, etc. De esta forma, resulta fundamental adaptar las dosis antes de iniciar la actividad física.

La siguiente tabla (*Ver tabla 3*) resume las recomendaciones generales sobre las reducciones necesarias de insulina basal o lenta en función de la intensidad y duración del ejercicio aeróbico, con el objetivo de mejorar el control glucémico y prevenir eventos adversos. Estas pautas deben ser personalizadas bajo supervisión médica (16,29).

Tabla 3. Reducciones generales de insulina basal para deportes aeróbicos. *Tomado de Coldberg S., 2003.*

| Duración | Baja intensidad | Intensidad moderada | Alta intensidad |
|--------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| <i>Reducciones de insulina</i> | | | |
| 15 minutos | Ninguna | 5-10% | 0-15% |
| 30 minutos | ninguna | 10-20% | 10-30% |
| 45 minutos | 5-15% | 15-30% | 20-45% |

| | | | |
|--------------------|--------|--------|---------|
| 60 minutos | 10-20% | 20-40% | 30-60% |
| 90 minutos | 15-30% | 30-55% | 45-75% |
| 120 minutos | 20-40% | 40-70% | 60-90% |
| 180 minutos | 30-60% | 60-90% | 75-100% |

Para un ejercicio intenso, cercano al máximo, es posible que se necesite un incremento de insulina de acción corta para contrarrestar el efecto de elevación de la glucosa que producen las hormonas que se liberan durante la actividad. A mayor intensidad, mayor es la liberación de hormonas hiperglucemiantes o contrarreguladoras como el glucagón, el cortisol, la GH y las catecolaminas (principalmente la adrenalina). Las grandes reducciones de insulina que se muestran en la tabla 2 para el ejercicio de alta intensidad son debidas a que en ella se asume que no se van a realizar ingestas adicionales antes ni durante la actividad. Es decir, cuanto mayor sea la reducción de insulina previa a un ejercicio de alta intensidad, menor será la necesidad de ingerir hidratos de carbono extras, por estar permitiendo que hormonas hiperglucemiantes realicen su función (16,45).

Una persona joven con DM1 que no realice deporte tendrá que utilizar la insulina como única terapia para mantener unos niveles de glucosa basal en rango. Se ha demostrado que esta terapia intensiva e inflexible de insulina impide la movilización de grasas, aumentando las reservas corporales de estas y, por tanto, el peso de la persona (17). De esta forma se explica también cómo una hiperinsulinemia durante la realización del ejercicio provocaría la interrupción de la oxidación de grasas o lipólisis (46), aumentando el consumo de glucosa y aumentando, evidentemente, el riesgo de hipoglucemia (47).

8.1.1. Estrategias para prevenir la hiperinsulinemia/hipoglucemia durante y después del ejercicio

Los estudios en humanos han demostrado que el ejercicio después de la administración subcutánea de insulina puede desembocar en una hiperinsulinemia, con un aumento alterado de la producción de glucosa hepática, que es insuficiente para los niveles de insulina tan elevados. Por ello, los diabéticos deben ser meticulosos a la hora de administrarse insulina de forma previa a una actividad o competición, y ser asesorados por profesionales de la salud.

Analicemos los tiempos antes, durante y después de la actividad:

Previamente a la realización del ejercicio aeróbico, realizaremos reducciones de insulina en base a las recomendaciones médicas (Ver tabla 3), las cuales aumentan de forma directamente proporcional a la duración del ejercicio. Durante la realización de la actividad se gasta parte de la glucosa almacenada en los músculos y en el hígado en forma de glucógeno. Este glucógeno debe ser repuesto en las horas siguientes. Esto significa que gran parte de los carbohidratos que se ingieren en las horas posteriores al ejercicio no se quedarán en la sangre, sino que se dirigirán a los músculos e hígado para reponer las reservas de glucógeno, aumentando el riesgo de hipoglucemia post-ejercicio, especialmente nocturna.

Este fenómeno se denomina captación periférica de glucosa, e implica que, en caso de no realizar un aumento suficiente en la ingesta de hidratos de carbono después de la actividad, las personas

con DM1 pueden necesitar reducir su dosis o dosis de insulina basal de las 12 horas posteriores entre un 20-50% (20,29).

Se debe tener en cuenta que los ajustes de insulina rápida deben ser individualizados, condicionados fundamentalmente por las ingestas que se produzcan antes, durante y después del ejercicio. Por ejemplo, algunas personas prescinden de la insulina rápida en la comida previa a la actividad o competición e intentan iniciar esta con una glucemia superior a 180 mg/dl (48).

A continuación, se plantean unas recomendaciones en cuanto a la administración de insulina hacia un adolescente/adulto joven que tiene planeado un entrenamiento de 2 horas de ciclismo de forma sostenida, actividad puramente aeróbica. Asimismo, estas recomendaciones son también válidas si se emplean en actividades similares como 40 minutos de natación, 50 minutos de running, 2,5 horas de esquí de fondo, etc. (29):

- Si el entrenamiento va a ser por la tarde, reducir la dosis matutina de insulina lenta en un 10-30%. Si la actividad llegase hasta las 4 horas se podría reducir hasta un 50%, siempre en función de la suplementación de HC que se fuese a llevar a cabo.
- Una alternativa a la primera opción es reducir la insulina de acción corta de la comida precedente en un 10-30%. Para entrenamientos más largos (hasta 4 horas) se puede considerar, en función de cada persona, llegar a suprimir del todo esta dosis.
- Reducir la dosis de insulina de acción corta en la comida después de practicar ciclismo.
- Considerar la posibilidad de reducir la dosis de insulina lenta al acostarse (si se la ponen) en un 10-30%, para evitar riesgo de hipoglucemias. O hacer una recena.
- Cuando la actividad se haga a última hora de la tarde los niveles de insulina circulante serán relativamente bajos, al haber pasado 3 o 4 horas respecto a la última administración de insulina rápida (en la comida). Esto significará realizar cambios mínimos en la insulina o en los carbohidratos extra. Lo mismo sucede a primera hora de la mañana, previo a la primera administración de insulina del día y en ayunas. Los niveles de insulina a esta hora son bajos, y la resistencia a la insulina es alta, por lo que no se necesita una dosis de insulina previa a la realización de ejercicio aeróbico en ayunas.
- Consumir de 30 a 60 gramos de HC por hora de ejercicio.

Para la persona adulta que se dispone a realizar ejercicio de tipo puesta en forma, es decir, de carácter aeróbico e intensidad suave-moderada, como una caminata, aquaerobic, máquinas de acondicionamiento, pilates, etc. estas son algunas recomendaciones para una correcta insulinización (29):

- Para sesiones de entrenamiento de hasta 20 minutos, reducir la dosis de insulina rápida en la comida anterior un 0-20%.
- Para sesiones más largas, reducir esta un 20-40%. Debemos recordar siempre que cuantas más horas hayan pasado desde la última comida (última hora de la tarde o primera hora de la mañana) tendremos los niveles de insulina más bajos y los cambios necesarios en el tratamiento, así como en la dieta, serán paulatinamente menores.

8.2. Manejo de insulina en deportes anaeróbicos

En la práctica de ejercicio anaeróbico, como pueden ser carreras de velocidad, natación tipo “sprint”, entrenamientos de intervalos de alta intensidad de atletismo, fútbol, fútbol sala, o deportes en los que se trabaja la hipertrofia muscular como la halterofilia, la calistenia y el

entrenamiento con pesas, al contrario que en deportes aeróbicos, se deben dar recomendaciones hacia la prevención de hiperglucemia.

8.2.1. Estrategias para prevenir la hipoinsulinemia/hiperglucemia durante y después del ejercicio

Una hiperglucemia se asocia tanto a la deficiencia de niveles de insulina necesarios para llevar a cabo la captación de glucosa como a un aumento de la producción de glucosa hepática que provoque altos niveles de esta en la sangre (36). Además, el estrés psicológico y los suplementos de HC pueden asociarse con la aparición de la hiperglucemia (20).

Dependiendo en gran medida del estado de la insulinización, la actividad física en pacientes insulinodependientes puede mejorar o empeorar su control metabólico. Por eso es importante seguir unas recomendaciones médicas.

Siempre que los niveles de glucemia antes de comenzar la actividad estén en rango, no está indicado administrar un bolo de insulina rápida momentos antes al inicio del ejercicio únicamente por temor a la hiperglucemia, por el riesgo de hipoglucemia que esta acción acarrea. Tampoco es correcto retirar la dosis de insulina rápida por completo por temor a hipoglucemias. En muchas ocasiones, el desconocimiento, por parte de los padres o de los propios sujetos, los lleva a realizar estas acciones.

A continuación, se formulan unas recomendaciones generales para adolescentes o adultos jóvenes que practiquen deportes como los mencionados anteriormente: (29)

- Se puede reducir la dosis de insulina lenta de la mañana en un 10-20% si la prueba o partido va a ser por la mañana.
- Para jugar o entrenar por la tarde, se puede disminuir la dosis de insulina lenta de la mañana en un 10-30% o bien reducir la dosis de insulina de acción corta de la comida en un 10-30%.
- Para realizar ejercicio a última hora de la tarde, normalmente no son necesarios cambios en la insulina o ingesta de carbohidratos extras.
- Ante un encuentro competitivo de corta duración (400 metros lisos, levantamiento de peso, actuación de gimnasia...) realizar cambios mínimos en la pauta, debido a la carga de estrés y a la naturaleza breve e intensa de la prueba.
- En una sesión de pesas que supere las 2 o 3 horas de duración, se recomienda no hacer cambios en el régimen y medirse la glucemia durante la sesión, pudiendo inyectarse una dosis de insulina rápida adicional (1 o 2 unidades) para corregir la acción hiperglucemiantre de este ejercicio.
- Tras un ejercicio de larga duración y muy demandante energéticamente, como un partido de fútbol, de tenis, o un combate de artes marciales, los niveles de glucemia pueden haber superado los límites. Se puede considerar la opción de administrar un bolo de insulina rápida de 1 o 2 unidades.

9. CAPÍTULO 6. NUTRICIÓN Y EJERCICIO FÍSICO

La DM1 representa un desafío constante en la vida de quienes la padecen. Toda persona diabética debe saber que el manejo adecuado de la glucemia no solo depende del tratamiento farmacológico, sino que está profundamente influenciado por factores como la alimentación y la actividad física. Ambos elementos no solo actúan de forma individual sobre el metabolismo glucémico, sino que su interacción puede generar respuestas fisiológicas complejas que requieren una planificación cuidadosa (41).

Este capítulo aborda el papel clave que desempeña la nutrición en el contexto del ejercicio físico en personas con DM1, destacando cómo la calidad y el momento de la ingesta pueden modificar la respuesta glucémica al ejercicio.

Una persona con DM1 realiza una captación de glucosa durante el ejercicio aeróbico menos eficaz que una persona no diabética, pues los niveles de insulina no serán tan ideales para realizar una captación óptima de glucosa como los de una persona no diabética. El metabolismo de la glucosa se regula de manera diferente según la intensidad del ejercicio. Durante el ejercicio moderado y mantenido en el tiempo, la absorción de glucosa en el músculo parece ser limitante, y la mayor oxidación intramuscular de los triglicéridos podría ser una adaptación compensatoria necesaria para mantener el suministro de energía. La DM1 se caracteriza por un aumento de la lipólisis, que se hace aún más evidente durante el ejercicio, al no encontrar en los carbohidratos el combustible suficiente para la obtención de energía (35).

Estudios como el de Raguso CA. et al. (35) demuestran una preferencia de la utilización de ácidos grasos en la DM1 durante la realización de ejercicio aeróbico moderado (40-60% de la captación máxima de oxígeno).

La evidencia sobre el porcentaje ideal de calorías que deben ingerir los diabéticos tipo 1 no ha demostrado una composición ideal y única. Su distribución debe individualizarse según un patrón alimentario, preferencias y objetivos de la persona. Las recomendaciones generales que nos aporta la guía RECORD de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición (SEEN) para la práctica de ejercicio en base a su intensidad y duración se resumen en la siguiente tabla (*tabla 4*):

Tabla 4. Recomendaciones generales aportadas por la guía RECORD de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición (SEEN) para la práctica de ejercicio en base a su intensidad y duración (20). *Modificado de Gargallo-Fernandez M. et al., 2015.*

| INTENSIDAD | FC | GRAMOS DE HC |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| Baja (30-45 minutos) | <60% FCMáx | 3-5 g/kg/día |
| Moderada (1 hora) | 60-79,9% FCMáx | 5-7 g/kg/día |
| Moderada (1-3 horas) | 60-79,9% FCMáx | 7-10 g/kg/día |
| Alta (>3 horas) | >80% FCMáx | 10-12 g/kg/día |

Adentrándonos en las recomendaciones recogidas sobre la nutrición durante la actividad, podemos mencionar 3 puntos importantes, en base a la duración de esta y teniendo siempre en cuenta las reducciones de insulina individualizadas para cada persona:

- En ejercicios que duren menos de 1 hora es fundamental mantener un buen estado de hidratación, sin ser necesarias las bebidas que contengan HC (isotónicas), pues no han

demostrado, salvo que el ejercicio sea de alta intensidad, tener efectos favorables en actividades de duración inferior a 60 minutos. En actividades de corta duración, especialmente en las aneróbicas, la energía se obtiene principalmente del sistema fosfágeno en combinación con el sistema del ácido láctico. Esto es, ATP y fosfato de creatina aportan esta energía inmediata, mientras que las reservas de glucógeno aportarían solamente el resto. Es por esta razón que la suplementación con HC debe ser mínima o incluso innecesaria, siempre que se haya comenzado la actividad con los niveles de glucosa en rango (41,49).

- En ejercicios de 1 a 2,5 horas de duración, además de mantener una buena hidratación, es recomendable la toma de suplementos que aporten 30-60 gramos de glucosa (unos 30 por hora). Alimentos que contienen estas cantidades de HC de absorción rápida son bebidas isotónicas (de 5 a 13 gramos, además de sodio y otras sales reponedoras) o geles deportivos (de 20 a 55 gramos de HC). Siempre dependiendo de las reducciones de insulina y de la intensidad del ejercicio. Otros estudios hablan de los beneficios que aporta a los diabéticos la norma usada para población no diabética que dice que, pasada la hora de ejercicio, se deben consumir los mismos gramos de HC de absorción rápida que kilogramos de peso corporal ostente el individuo (41).
- En ejercicios de más de 2,5 horas de duración, las recomendaciones son similares al caso anterior. Además, se aconseja introducir un 20-30% de los HC en fuentes de absorción media, como fruta, barritas energéticas, sándwiches, dátiles (41)...

En el caso de no ingerir la cantidad de HC que exige la actividad para ir supliendo la energía gastada, sobre todo en actividades de larga duración, el deportista entrará en un proceso denominado cetosis. En este proceso, nuestro organismo utiliza las reservas de lípidos para la obtención de energía, por no disponer de los HC suficientes. Si el tiempo en cetosis se prolonga, aumentan los cuerpos cetónicos en sangre o cetonas y es entonces cuando se comienzan a notar síntomas como náuseas, dolor abdominal, falta de apetito o falta de fuerza. En este punto, en caso de no cesar la actividad para reponer HC de absorción rápida de forma precoz, nos encontraremos con una urgencia bastante común en deportistas diabéticos: la hipoglucemia cetósica (29).

Aunque el consumo de HC es mayor en actividades cortas e intensas (Fig. 4), la acción de las hormonas contrarreguladoras, que evitan la caída de la glucosa en sangre hace que la suplementación con HC sea menor que en las actividades aeróbicas de larga duración (Ver tabla 5) (29).

Tabla 5. Incrementos generales de carbohidratos durante la realización de ejercicio aeróbico. *Tomado de Coldberg S., 2003.*

| Duración | Intensidad | Glucosa en sangre antes del ejercicio (mg/dl) | | | |
|------------|------------|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|
| | | <100 | 100-150 | 150-200 | >200 |
| 15 minutos | Baja | 0-5 | ninguna | ninguna | ninguna |
| | Moderada | 5-10 | 0-10 | 0-5 | ninguna |
| | Alta | 0-15 | 0-15 | 0-10 | 0-5 |
| 30 minutos | Baja | 5-10 | 0-10 | ninguna | ninguna |
| | Moderada | 10-15 | 10-15 | 10-15 | 10-15 |

| | | | | | |
|--------------------|----------|--------|--------|--------|---------|
| | Moderada | 10-25 | 10-20 | 5-15 | 0-10 |
| | Alta | 15-35 | 15-30 | 10-25 | 5-20 |
| 45 minutos | Baja | 5-15 | 5-10 | 0-5 | ninguna |
| | Moderada | 15-35 | 10-30 | 5-20 | 0-10 |
| | Alta | 20-40 | 20-35 | 15-30 | 10-25 |
| 60 minutos | Baja | 10-15 | 10-15 | 0-10 | 0-5 |
| | Moderada | 20-50 | 15-40 | 10-30 | 5-15 |
| | Alta | 30-45 | 25-40 | 20-35 | 15-30 |
| 90 minutos | Baja | 15-20 | 10-20 | 5-15 | 0-10 |
| | Moderada | 30-60 | 25-50 | 20-35 | 10-20 |
| | Alta | 45-70 | 40-60 | 30-50 | 25-40 |
| 120 minutos | Baja | 15-30 | 15-25 | 10-20 | 5-15 |
| | Moderada | 40-80 | 35-70 | 30-50 | 15-30 |
| | Alta | 60-90 | 50-80 | 40-70 | 30-60 |
| 180 minutos | Baja | 30-45 | 25-40 | 20-30 | 10-20 |
| | Moderada | 60-120 | 50-100 | 40-80 | 25-45 |
| | Alta | 90-135 | 75-120 | 60-105 | 45-90 |

- La cantidad recomendada se da en gramos de carbohidratos de absorción rápida.
- Las actividades de baja intensidad se hacen a menos del 60% de la frecuencia cardíaca máxima (220-edad), las de intensidad moderada al 60-70% y las de intensidad alta a >80%.
- Para valores de glucosa en sangre superiores a 200 mg/dl, o cuando las cetonas están presentes, puede ser necesaria una dosis adicional de insulina de acción corta para reducir dichos niveles durante la actividad.
- Si la glucemia es inferior a 70 mg/ml, debe posponerse la práctica de ejercicio hasta alcanzar valores superiores a 100.

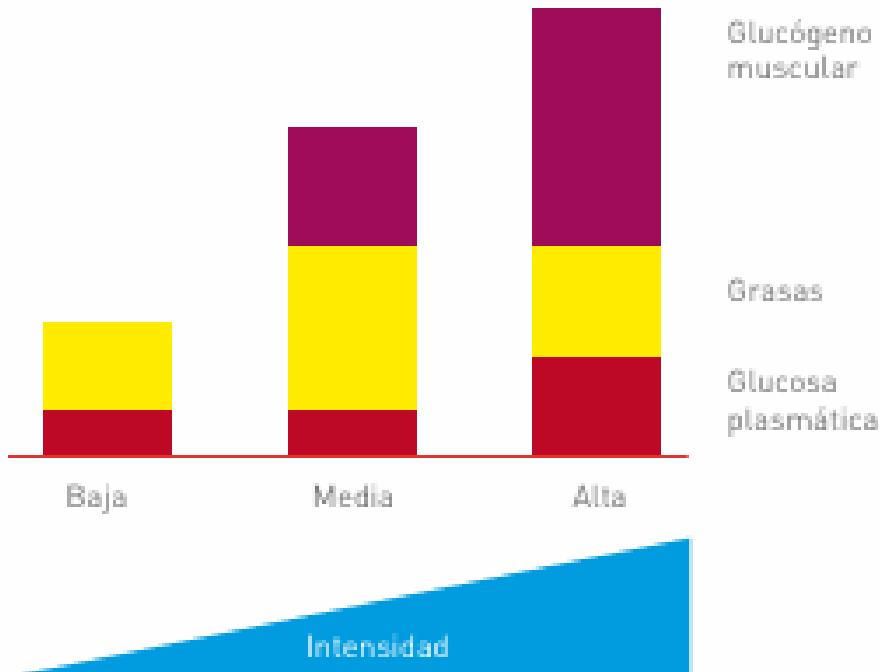


Figura 4. Cuando se realiza ejercicio de intensidad baja, como caminar, se consume en mayor medida grasa y una pequeña cantidad de glucosa sanguínea. Es por esto por lo que estas actividades apenas reducen los niveles de glucosa y no requieren de suplementación de HC. A medida que aumentamos la intensidad del ejercicio, se comenzará a consumir la pequeña reserva que tiene cada célula muscular en forma de glucógeno. El objetivo del deportista será retrasar el consumo de estas reservas de glucógeno y lo logrará añadiendo HC a la suplementación durante la actividad. *Tomado de Gargallo-Fernández M. et al., 2015.*

Estudios recientes respaldan una técnica eficaz para retrasar lo máximo posible la depleción de HC por grasas en el consumo energético, cuando el objetivo es optimizar el rendimiento en una competición o evento exigente. Esta técnica es la sobrecarga de HC o supercompensación los días previos a la competición y, aunque hay varias formas de llevarlo a cabo, la idea principal de esta dieta consiste en hacer una escasa ingesta de HC la semana previa a la competición, junto con un plan de entrenamiento muy exigente, llegando prácticamente a vaciar las reservas de glucógeno. Los 3 días previos al evento, el sujeto hará una dieta donde el 70 u 80% de las calorías ingeridas sean HC, bajando la intensidad y el volumen de entrenamiento. Varios estudios han demostrado los beneficios de esta técnica tanto en personas diabéticas como no diabéticas, por estimular al máximo la resíntesis de las reservas de glucógeno. No obstante, debe realizarse bajo control de profesionales como endocrinólogos, nutricionistas y entrenadores deportivos para evitar efectos secundarios como hipoglucemias, tensiones musculares, problemas gastrointestinales o deshidratación. (49)

Al finalizar el ejercicio, la persona diabética deberá monitorizar su glucemia y, si fuera inferior a 120 mg/dl, ingerir 15-20 gramos de HC, al poder ser de bajo IG (50). Algunos ejemplos de raciones adecuadas para este momento serían:

- A) 250 ml de bebida isotónica (un vaso) con 30 gramos de pan blanco.
- B) Una manzana pequeña.

- C) Un plátano pequeño.
- D) 10-15 frutos secos junto a 250 ml de bebida isotónica.

Si se puede optar a un plato más elaborado en los próximos 60 minutos tras el fin del ejercicio, se escogerán principalmente fuentes de HC de absorción lenta como las legumbres, verduras y cereales integrales.

En cuanto al consumo proteico, se recomienda ingerir de 1,2-1,4 g/kg/día para los diabéticos que realicen un mínimo de ejercicio físico, y 1,2-1,7 g/kg/día para los que realicen deportes de fuerza, pues la combinación de ejercicio y el consumo de proteínas mejora la adaptación muscular (20). Además, el consumo de 20-25 gramos de proteína de calidad tras el ejercicio maximiza la síntesis de proteína muscular en adolescentes y adultos jóvenes con DM1, pues estos presentan más degradación de proteínas musculares durante y después del ejercicio que las personas no diabéticas (51,52).

En base a esta información nutricional, si hubiese que formular unas recomendaciones acerca de las ingestas diarias adecuadas para adolescentes y adultos jóvenes que practiquen ejercicio de forma rutinaria, incluyendo alimentos de calidad y de fácil acceso, la evidencia científica respalda que:

- El consumo de proteínas debe basarse en proteínas magras, esenciales para la recuperación muscular y el control metabólico. Las contienen alimentos como el salmón, el pollo, las legumbres, el pavo, etc. Una dieta rica en proteínas también reduce el riesgo de hipoglucemias nocturnas (52).
- Los carbohidratos deben ser de bajo índice glucémico (IG). Este término hace referencia a la rapidez con la que se elevan los niveles de glucosa en sangre tras ingerir un alimento rico en HC. Estos son, principalmente, las verduras, las legumbres, los frutos secos, los lácteos bajos en grasa o las semillas como la quinoa (53,54).
- Un consumo abundante de verduras es una fuente de HC de calidad, además de vitaminas, antioxidantes y fibra, la cual ayuda a enlentecer la absorción de la glucosa (54,55)
- La fuente principal de grasas saludables debe ser el aceite de oliva virgen extra, por su efecto saciante y por mejorar la sensibilidad a la insulina (54)

10. CAPÍTULO 7. EJERCICIO FÍSICO EN AYUNAS

Existe controversia en relación con la práctica de ejercicio físico en ayunas en personas diabéticas. Aunque se han realizado algunos estudios, como los que se van a comentar a continuación, la información es escasa y son necesarios más análisis en diversos contextos como el tipo, la intensidad y la duración del ejercicio, así como la nutrición previa y posterior o los niveles de insulina basal a la hora de realizar la actividad (56,57).

Cuando estamos en ayunas, los niveles de insulina en sangre son bajos, lo que favorece un ambiente en el que se lleve a cabo la lipólisis. La lipólisis es el proceso mediante el cual, las grasas son disgregadas en ácidos grasos. En períodos de ayuno es muy escasa la disponibilidad de hidratos de carbono necesaria para la obtención de energía, por lo que se favorece la movilización de ácidos grasos tanto durante como después de la actividad. Este hecho es beneficioso para controlar los niveles de lípidos y para bajar de peso corporal. Este proceso

lipolítico es más agresivo cuanto más intensa es la actividad (carrera intensa, entrenamiento de fuerza, etc.) (58)

El ejercicio físico en ayunas también mejora la sensibilidad a la insulina por parte de las células musculares por el hecho de incrementar la capacidad de oxidación de grasas, sobre todo en los músculos implicados en la actividad. Así se aumenta la eficacia de la insulina exógena, razón por la cual no será necesaria una dosis extra de insulina previa a la realización de ejercicio en ayunas a no ser que se administre bajo orden o supervisión médica, pues el riesgo de hipoglucemia aumenta considerablemente (59).

En un estudio quisieron comparar 2 grupos diferentes de adultos con DM1, en los cuales, uno de ellos hizo ejercicio durante 1 hora, al 60% de VO₂max en estado de ayuno de 12 horas. El otro grupo hizo ejercicio 1 hora después de comer. Se observó que los integrantes del grupo 1 obtuvieron beneficios metabólicos en los triglicéridos y en el metabolismo del HDL (colesterol bueno), disminuyendo la progresión de los procesos ateroscleróticos, es decir, de la “acumulación de grasas, colesterol y otras sustancias dentro y sobre las paredes de las arterias” (60).

No obstante, deben ser señaladas las desventajas que conlleva la realización de entrenamientos en ayunas, como son la acentuada degradación de las proteínas o catabolismo proteico, lo cual es desfavorable principalmente en los adolescentes, la reducción del rendimiento y una mayor exposición a hipoglucemias e hiperglucemias (57).

A continuación, se ofrecen unas recomendaciones publicadas por el Centro de Innovación de la diabetes Sant Joan de Deu (56) hacia las personas con DM1 que utilizan el ejercicio físico en ayunas como ayuda para mantener un equilibrio en sus niveles de glucemia:

- Controlar los niveles de glucemia antes y después de la realización del ejercicio.

Si la glucemia es menor de 100 mg/dl al comienzo de la actividad, se recomienda ingerir 10 gramos de HC de absorción media-lenta e iniciar el ejercicio a los 10-15 minutos. Si la glucemia es mayor de 250 mg/dl, no es recomendable iniciar la actividad. Es recomendable realizar mediciones de glucosa post-ejercicio hasta las 24 horas después de finalizarlo (56).

- Considerar el tipo y momento del ejercicio.

Como se ha explicado anteriormente, el ejercicio aeróbico en ayunas disminuye los niveles en sangre, mientras que el ejercicio anaeróbico o de fuerza tendrá la capacidad de elevarlos transitoriamente (56).

- Reconocer la variabilidad individual.

La respuesta al ejercicio puede variar según el nivel de condición física y el tipo de insulina utilizada. Por ello, se recomienda tener precaución y acudir a los profesionales en busca de asesoramiento a la hora de realizar ejercicio físico, sobre todo en ayunas, dada la extrema sensibilidad de nuestras células a todas las hormonas circulantes en sangre (56).

De esta forma y con la evidencia científica actual, se puede considerar el ejercicio físico en ayunas como una estrategia coadyuvante en el manejo de la DM1, aunque se requieran más estudios para establecer protocolos seguros y efectivos en adolescentes y adultos jóvenes.

11. CONCLUSIONES

A lo largo de la revisión bibliográfica realizada, se han identificado tanto los beneficios como los riesgos asociados a la práctica de actividad física en adolescentes y adultos jóvenes con DM1, acompañados de una serie de recomendaciones sobre entrenamiento personal, nutrición y manejo de insulina con las cuales se pretende llegar tanto a personas que se inician en el deporte como a las que lo realizan de forma rutinaria.

La práctica de ejercicio regular reduce las necesidades de insulina, pero esto no siempre significa que haya una mejora en el control glucémico. Se deben tener muy presentes otros factores como: la ingesta de hidratos de carbono, la dosis de insulina utilizada o los acontecimientos que afecten a la regulación hormonal de nuestro organismo, como el estrés o la temperatura.

El ejercicio regular se ha demostrado beneficioso en el manejo metabólico de la DM1, favoreciendo la reducción de la HbA1c, mejorando la capacidad aeróbica y contribuyendo al bienestar general. Sin embargo, su implementación no está exenta de riesgos, especialmente en lo que respecta al manejo de la insulina y el riesgo de hipoglucemia o hiperglucemia durante y después de la actividad física.

Los resultados obtenidos evidencian que el ejercicio aeróbico en ayunas puede tener efectos positivos sobre los perfiles lipídicos y el control del HDL, pero también presenta inconvenientes como el aumento del catabolismo proteico y el riesgo de episodios de hipoglucemia. Por ello, es fundamental una adecuada planificación y un manejo óptimo de la insulina para mitigar estos riesgos.

Asimismo, tanto los ejercicios de fuerza como los de perfil anaeróbico pueden provocar un aumento temporal de los niveles de glucosa, lo que obliga a ajustar las estrategias de insulina antes, durante y después de la práctica deportiva. Se destaca la necesidad tanto de una evaluación continua de los niveles glucémicos por parte de la persona como del control periódico por parte de profesionales de la salud para garantizar la seguridad del paciente.

Como no puede ser de otra manera, es necesario seguir investigando estrategias que optimicen el rendimiento físico sin comprometer el equilibrio glucémico, adaptando las recomendaciones a las características individuales de cada persona diabética. Esto permitirá fomentar la práctica de actividad física en la población con DM1 de manera segura y efectiva, promoviendo estilos de vida saludables.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. San Laureano FC, Manzanedo JVG, Ortega CA, Calzado CG, Rodríguez JJS, Diosdado MA. Impacto de la actividad física sobre el control metabólico y el desarrollo de complicaciones crónicas en pacientes con diabetes mellitus tipo 1. *Endocrinología y Nutrición* [Internet]. 2010 Jun 1 [cited 2025 Mar 19];57(6):268–76. Available from: <https://www.elsevier.es/es-revista-endocrinologia-nutricion-12-articulo-impacto-actividad-fisica-sobre-el-S1575092210000525>
2. Parent C, Lespagnol E, Berthoin S, Tagougui S, Heyman J, Stuckens C, et al. Barriers to Physical Activity in Children and Adults Living With Type 1 Diabetes: A Complex Link With Real-life Glycemic Excursions. *Can J Diabetes*. 2023 Mar 1;47(2):124–32.
3. Reddy R, Wittenberg A, Castle JR, El Youssef J, Winters-Stone K, Gillingham M, et al. Effect of Aerobic and Resistance Exercise on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes* [Internet]. 2019 Aug 1 [cited 2025 Mar 15];43(6):406-414.e1. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30414785/>
4. Tonoli C, Heyman E, Roelands B, Buyse L, Cheung SS, Berthoin S, et al. Effects of different types of acute and chronic (training) exercise on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus: a meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2012 Dec [cited 2025 Feb 2];42(12):1059–80. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23134339/>
5. Primavera M, Giannini C, Chiarelli F. Prediction and Prevention of Type 1 Diabetes. *Front Endocrinol (Lausanne)* [Internet]. 2020 Jun 2 [cited 2025 Feb 10];11. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32670194/>
6. Gregory GA, Robinson TIG, Linklater SE, Wang F, Colagiuri S, de Beaufort C, et al. Global incidence, prevalence, and mortality of type 1 diabetes in 2021 with projection to 2040: a modelling study. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2022 Oct 1;10(10):741–60.
7. Comprender la diabetes tipo 1 | American Diabetes Association [Internet]. [cited 2025 Jan 13]. Available from: <https://diabetes.org/es/sobre-la-diabetes/tipo-1>
8. Kandemir N, Dogus Vuralli |, Ozon A, Gonc N, Didem Ardicli |, Jalilova L, et al. Epidemiology of type 1 diabetes mellitus in children and adolescents: A 50-year, single-center experience. 1990 [cited 2025 Feb 17]; Available from: <https://doi.org/10.1111/1753-0407.13562>
9. Diabetes [Internet]. [cited 2025 Jan 3]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
10. Gomber A, Ward ZJ, Ross C, Owais M, Mita C, Yeh JM, et al. Variation in the incidence of type 1 diabetes mellitus in children and adolescents by world region and country income group: A scoping review. *PLOS global public health* [Internet]. 2022 Nov 1 [cited 2025 Feb 17];2(11). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36962669/>

11. La diabetes en el mundo: clasificación por país | dbl-diabetes [Internet]. [cited 2025 Jan 3]. Available from: <https://www dbl-diabetes.es/todo-sobre-la-diabetes/sociedad/la-diabetes-en-el-mundo-clasificacion-por-pais>
12. Calvo-Muñoz I, Gómez-Conesa A. Effect of physical exercise on metabolic control and cardiorespiratory function in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. Systematic review. Vol. 28, *Avances en Diabetología*. Elsevier Doyma; 2012. p. 10–8.
13. Forga L, Goñi MJ. Luces y sombras en la epidemiología de la diabetes de tipo 1. *Avances en Diabetología* [Internet]. 2014 Mar 1 [cited 2025 Feb 24];30(2):27–33. Available from: <https://www.elsevier.es/es-revista-avances-diabetologia-326-articulo-luces-sombras-epidemiologia-diabetes-tipo-S113432301400009X>
14. Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes 2019 – 2020 [Internet]. [cited 2025 Jan 19]. Available from: <https://portaldeboaspraticas.iff.fiocruz.br/biblioteca/diretrizes-da-sociedade-brasileira-de-diabetes-2019-2020/>
15. de Lima V de A, de Menezes Júnior FJ, Celli L da R, França SN, Cordeiro GR, Mascarenhas LPG, et al. Effects of resistance training on the glycemic control of people with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Arch Endocrinol Metab* [Internet]. 2022 [cited 2025 Jan 19];66(4):533–40. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35758833/>
16. Diabetes tipo 1 y deporte. Para niños, adolescentes y adultos jóvenes [Internet]. [cited 2025 Jan 13]. Available from: <https://www.fundacionparalasalud.org/general/material/10/diabetes-tipo-1-y-deporte-para-ninos-adolescentes-y-adultos-jovenes>
17. Riddell MC, Scott SN, Fournier PA, Colberg SR, Gallen IW, Moser O, et al. The competitive athlete with type 1 diabetes. *Diabetología* [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2025 Feb 19];63(8):1475–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32533229/>
18. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol* [Internet]. 2017 May 1 [cited 2025 Feb 2];5(5):377–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28126459/>
19. McGee SL, Howlett KF, Starkie RL, Cameron-Smith D, Kemp BE, Hargreaves M. Exercise increases nuclear AMPK alpha2 in human skeletal muscle. *Diabetes* [Internet]. 2003 Apr 1 [cited 2025 Feb 9];52(4):926–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12663462/>
20. Gargallo-Fernández M, Escalada San Martín J, Gómez-Peralta F, Rozas Moreno P, Marco Martínez A, Botella-Serrano M, et al. Recomendaciones clínicas para la práctica del deporte en pacientes con diabetes mellitus (Guía RECORD). Grupo de Trabajo de Diabetes Mellitus de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición (SEEN). *Endocrinología y Nutrición* [Internet]. 2015 Jun 1 [cited 2025 Mar 26];62(6):e73–93. Available from: <https://www.elsevier.es/es-revista-endocrinologia-nutricion-12-articulo-recomendaciones-clinicas-practica-del-deporte-S1575092215000741>

21. Lee AS, Johnson NA, McGill MJ, Overland J, Luo C, Baker CJ, et al. 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* [Internet]. 2020 Sep 1 [cited 2025 May 1];43(9):2281–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32647051/>
22. Ramalho AC, de Lourdes Lima M, Nunes F, Cambuí Z, Barbosa C, Andrade A, et al. The effect of resistance versus aerobic training on metabolic control in patients with type-1 diabetes mellitus. *Diabetes Res Clin Pract* [Internet]. 2006 Jun [cited 2025 Jan 19];72(3):271–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16406128/>
23. Salem MA, Aboelasrar MA, Elbarbary NS, Elhilaly RA, Refaat YM. Is exercise a therapeutic tool for improvement of cardiovascular risk factors in adolescents with type 1 diabetes mellitus? A randomised controlled trial. *Diabetol Metab Syndr* [Internet]. 2010 [cited 2025 Jan 19];2(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20618996/>
24. Harmer AR, Chisholm DJ, McKenna MJ, Morris NR, Thom JM, Bennett G, et al. High-intensity training improves plasma glucose and acid-base regulation during intermittent maximal exercise in type 1 diabetes. *Diabetes Care* [Internet]. 2007 May [cited 2025 Mar 19];30(5):1269–71. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17325264/>
25. Yardley JE, Hay J, Abou-Setta AM, Marks SD, McGavock J. A systematic review and meta-analysis of exercise interventions in adults with type 1 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract* [Internet]. 2014 Dec 1 [cited 2025 Mar 27];106(3):393–400. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25451913/>
26. Tonoli C, Heyman E, Roelands B, Buyse L, Cheung SS, Berthoin S, et al. Effects of different types of acute and chronic (training) exercise on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus: a meta-analysis. *Sports Med* [Internet]. 2012 Dec [cited 2025 Mar 27];42(12):1059–80. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23134339/>
27. Evans PL, McMillin SL, Weyrauch LA, Witczak CA. Regulation of Skeletal Muscle Glucose Transport and Glucose Metabolism by Exercise Training. *Nutrients* [Internet]. 2019 Oct 1 [cited 2025 Mar 15];11(10). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31614762/>
28. Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, et al. The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA* [Internet]. 2018 Nov 20 [cited 2025 Mar 15];320(19):2020–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30418471/>
29. Colberg S. *Diabetes y ejercicio físico*. Madrid: Tutor; 2003. 284 p.
30. MJ T, E T, RW B, N M, BA B, SA W, et al. The effects of aerobic exercise on glucose and counterregulatory hormone concentrations in children with type 1 diabetes. *Diabetes Care* [Internet]. 2006 Jan 1 [cited 2025 Jan 26];29(1):20–5. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16373890/>
31. Guelfi KJ, Jones TW, Fournier PA. The decline in blood glucose levels is less with intermittent high-intensity compared with moderate exercise in individuals

- with type 1 diabetes. *Diabetes Care* [Internet]. 2005 Jun [cited 2025 Jan 26];28(6):1289–94. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15920041/>
32. Iscoe KE, Riddell MC. Continuous moderate-intensity exercise with or without intermittent high-intensity work: effects on acute and late glycaemia in athletes with Type 1 diabetes mellitus. *Diabet Med* [Internet]. 2011 Jul [cited 2025 Feb 2];28(7):824–32. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21388440/>
33. Paolo Bassareo P, Sculthorpe N, Maruhashi T, Boff W, Bertoluci MC, Silva da A, et al. 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. *Front Physiol* [Internet]. 2019 [cited 2025 May 1];10:450. Available from: www.frontiersin.org
34. Grgic J, McIlvenna LC, Fyfe JJ, Sabol F, Bishop DJ, Schoenfeld BJ, et al. Does Aerobic Training Promote the Same Skeletal Muscle Hypertrophy as Resistance Training? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* [Internet]. 2019 Feb 14 [cited 2025 Mar 15];49(2):233–54. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30341595/>
35. Raguso CA, Coggan AR, Gastaldelli A, Sidossis LS, Bastyr EJ, Wolfe RR. Lipid and carbohydrate metabolism in IDDM during moderate and intense exercise. *Diabetes* [Internet]. 1995 [cited 2025 Mar 16];44(9):1066–74. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7657030/>
36. Mitchell TH, Abraham G, Schiffrin A, Leiter LA, Marliss EB. Hyperglycemia after intense exercise in IDDM subjects during continuous subcutaneous insulin infusion. *Diabetes Care* [Internet]. 1988 [cited 2025 Mar 16];11(4):311–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3042306/>
37. Tsalikian E. Impact of exercise on overnight glycemic control in children with type 1 diabetes mellitus. *Journal of Pediatrics* [Internet]. 2005 Oct 1 [cited 2025 Feb 2];147(4):528–34. Available from: <http://www.jpeds.com/article/S0022347605004002/fulltext>
38. Scott SN, Cocks M, Andrews RC, Narendran P, Purewal TS, Cuthbertson DJ, et al. 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*. 2018 Nov 9;104(2):604–12.
39. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* [Internet]. 2013 Aug 20 [cited 2025 Mar 15];128(8):873–934. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23877260/>
40. Diabetes [Internet]. [cited 2025 May 3]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
41. Gargallo-Fernández M, Escalada San Martín J, Gómez-Peralta F, Rozas Moreno P, Marco Martínez A, Botella-Serrano M, et al. Recomendaciones clínicas para la práctica del deporte en pacientes con diabetes mellitus (Guía RECORD). Grupo de Trabajo de Diabetes Mellitus de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición (SEEN). *Endocrinología y Nutrición* [Internet]. 2015 Jun 1 [cited 2025 Mar 30];62(6):e73–93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26144000/>

- <https://www.elsevier.es/es-revista-endocrinologia-nutricion-12-articulo-recomendaciones-clinicas-practica-del-deporte-S1575092215000741>
42. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol* [Internet]. 2017 May 1 [cited 2025 May 3];5(5):377–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28126459/>
 43. Kaufmann B, Boulle P, Berthou F, Fournier M, Beran D, Ciglenecki I, et al. Heat-stability study of various insulin types in tropical temperature conditions: New insights towards improving diabetes care. *PLoS One* [Internet]. 2021 Feb 1 [cited 2025 May 3];16(2 February). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33534816/>
 44. Norrman M, Hubálek F, Schluckebier G. Structural characterization of insulin NPH formulations. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* [Internet]. 2007 Apr [cited 2025 May 3];30(5):414–23. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17339105/>
 45. Parent C, Lespagnol E, Berthoin S, Tagougui S, Stuckens C, Tonoli C, et al. Continuous moderate and intermittent high-intensity exercise in youth with type 1 diabetes: Which protection for dysglycemia? *Diabetes Res Clin Pract*. 2024 Apr 1;210.
 46. Chokkalingam K, Tsintzas K, Norton L, Jewell K, Macdonald IA, Mansell PI. Exercise under hyperinsulinaemic conditions increases whole-body glucose disposal without affecting muscle glycogen utilisation in type 1 diabetes. *Diabetologia* [Internet]. 2007 [cited 2025 Feb 19];50(2):414–21. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17119916/>
 47. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol* [Internet]. 2017 May 1 [cited 2025 Feb 19];5(5):377–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28126459/>
 48. Campbell MD, Walker M, Trenell MI, Jakovljevic DG, Stevenson EJ, Bracken RM, et al. Large pre- and postexercise rapid-acting insulin reductions preserve glycemia and prevent early- but not late-onset hypoglycemia in patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care* [Internet]. 2013 [cited 2025 Apr 4];36(8):2217–24. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23514728/>
 49. 4. Foundations of care: Education, nutrition, physical activity, smoking cessation, psychosocial care, and immunization. *Diabetes Care*. 2015;38:S20–30.
 50. Mezquita-Raya P, Reyes-García R, Moreno-Pérez Ó, Muñoz-Torres M, Merino-Torres JF, Gorgojo-Martínez JJ, et al. Position statement: Hypoglycemia management in patients with diabetes mellitus. Diabetes Mellitus Working Group of the Spanish Society of Endocrinology and Nutrition. *Endocrinología y Nutrición* (English Edition). 2013 Nov 1;60(9):517.e1-517.e18.
 51. Phillips SM. The impact of protein quality on the promotion of resistance exercise-induced changes in muscle mass. *Nutr Metab (Lond)* [Internet]. 2016 Sep 29 [cited 2025 May 7];13(1):1–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27708684/>

52. Areta JL, Burke LM, Ross ML, Camera DM, West DWD, Broad EM, et al. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *Journal of Physiology* [Internet]. 2013 May [cited 2025 May 7];591(9):2319–31. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23459753/>
53. Índice glucémico y diabetes: MedlinePlus encyclopedia médica [Internet]. [cited 2025 May 7]. Available from: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000941.htm>
54. Estruch R, Ros E, Salas-Salvadó J, Covas MI, Corella D, Arós F, et al. Primary Prevention of Cardiovascular Disease with a Mediterranean Diet Supplemented with Extra-Virgin Olive Oil or Nuts. *New England Journal of Medicine* [Internet]. 2018 Jun 21 [cited 2025 May 7];378(25). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29897866/>
55. MacLeod J, Franz MJ, Handu D, Gradwell E, Brown C, Evert A, et al. Academy of Nutrition and Dietetics Nutrition Practice Guideline for Type 1 and Type 2 Diabetes in Adults: Nutrition Intervention Evidence Reviews and Recommendations. *J Acad Nutr Diet*. 2017 Oct 1;117(10):1637–58.
56. Consejos de seguridad para antes y después de hacer ejercicio | Guía Diabetes tipo 1 [Internet]. [cited 2025 May 10]. Available from: <https://diabetes.sjdhospitalbarcelona.org/es/diabetes-tipo-1/consejos/consejos-seguridad-antes-despues-realizacion-ejercicio-fisico>
57. Arrieta F, Iglesias P, Pedro-Botet J, Tébar FJ, Ortega E, Nubiola A, et al. Diabetes mellitus y riesgo cardiovascular: recomendaciones del Grupo de Trabajo Diabetes y Enfermedad Cardiovascular de la Sociedad Española de Diabetes (SED, 2015). *Aten Primaria* [Internet]. 2015 May 1 [cited 2025 May 10];48(5):325. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6877822/>
58. Herz D, Haupt S, Zimmer RT, Wachsmuth NB, Schierbauer J, Zimmermann P, et al. Efficacy of Fasting in Type 1 and Type 2 Diabetes Mellitus: A Narrative Review. *Nutrients* [Internet]. 2023 Aug 1 [cited 2025 May 10];15(16). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37630716/>
59. Hansen D, De Strijcker D, Calders P. Impact of Endurance Exercise Training in the Fasted State on Muscle Biochemistry and Metabolism in Healthy Subjects: Can These Effects be of Particular Clinical Benefit to Type 2 Diabetes Mellitus and Insulin-Resistant Patients? *Sports Medicine* [Internet]. 2017 Mar 1 [cited 2025 May 10];47(3):415–28. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27459862/>
60. Ejercicio en ayunas [Internet]. [cited 2025 Jan 22]. Available from: <https://www.amdiabetes.org/post/ejercicio-en-ayunas>

