

Revisión

Diabetes tipo 1 y ejercicio: desde el manejo nutricional hasta el impacto de la tecnología

Pablo Jaramillo ^{1,2}, Ana María Gómez ^{1,2}, Oscar Mauricio Muñoz ^{1,3}, Sofía Robledo ¹,

¹Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

²Hospital Universitario San Ignacio, Unidad de Endocrinología, Bogotá, Colombia

³Hospital Universitario San Ignacio, Departamento de Medicina Interna, Bogotá, Colombia

Cómo citar: Jaramillo P, Gómez AM, Muñoz OM, Robledo S. Diabetes tipo 1 y ejercicio: desde el manejo nutricional hasta el impacto de la tecnología. Rev Colomb Endocrinol Diabet Metab. 2022;9(1):e729. <https://doi.org/10.53853/encr.9.1.729>

Recibido: 7/Julio/2021

Aceptado: 6/Diciembre/2021

Publicado: 8/Febrero/2022

Resumen

Contexto: en las últimas décadas, los avances en el tratamiento de los pacientes con diabetes tipo 1 han permitido optimizar el control metabólico y disminuir cada vez más la frecuencia de eventos de seguridad, entre ellos la hipoglucemia. La tecnología juega un papel fundamental en el control glucémico de estos pacientes y cada vez es más utilizada en la población diabética mundial; sin embargo, los cambios en el estilo de vida continúan teniendo un papel protagónico y entre ellos el ejercicio se considera fundamental para el manejo no solo de la diabetes sino de las comorbilidades asociadas.

Objetivo: la presente revisión busca reforzar el conocimiento desde las bases fisiológicas de esta relación dicotómica y fuerte entre ejercicio físico y diabetes tipo 1 y sentar las bases terapéuticas enfocadas en la disminución de eventos de seguridad, principalmente la hipoglucemia.

Metodología: se realizó una búsqueda no sistemática de la literatura en diabetes tipo 1 y ejercicio físico, incluyendo el manejo nutricional, automonitoreo, manejo farmacológico y tecnología.

Resultados: la evidencia en diabetes tipo 1 es amplia, sin embargo, cuando se aplica a la actividad física, es limitada. Se logran reunir los conceptos más importantes en el abordaje de estos pacientes y lanzar algunas recomendaciones para el clínico

Conclusiones: el metabolismo del paciente con diabetes tipo 1 en relación con la actividad física es un reto. Existen herramientas que se deben utilizar al momento de prescribir ejercicio y van encaminadas a disminuir complicaciones agudas y lograr mejor control metabólico.

Palabras clave: diabetes tipo 1, actividad física, nutrición, insulina, monitoreo continuo de glucosa, sistema híbrido de asa cerrada.

Destacados

- En la fisiología del ejercicio del paciente sano influyen múltiples aspectos hormonales que buscan aumentar la disponibilidad de glucosa en sangre y satisfacer las necesidades del músculo las cuales se encuentran hasta 50 veces aumentadas.
- El comportamiento metabólico durante el ejercicio en el paciente con diabetes tipo 1 es mucho más impredecible. Las concentraciones persistentemente elevadas de insulina y su recirculación hacen que haya un riesgo aumentado de hipoglucemia.
- El manejo del paciente con diabetes tipo 1 que se somete a ejercicio debe ser multidisciplinario. La nutrición, el automonitoreo y la insulino terapia deben ser cuidadosamente adaptados a dichas circunstancias en aras de mejorar el control metabólico y evitar eventos adversos.
- La tecnología juega un papel fundamental en el abordaje del paciente con diabetes tipo 1 físicamente activo. Aporta herramientas que facilitan el manejo diario del paciente y que permiten un seguimiento más estrecho de su comportamiento glucémico durante la actividad física.

 **Correspondencia:** Pablo Jaramillo, calle 41 # 13-06, piso 3, Unidad de Endocrinología, Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia. Correo-e: jaramillopa@javeriana.edu.co

Type 1 diabetes and physical activity: from nutritional management to the impact of technology

Abstract

Background: In recent decades, advances in the treatment of patients with type 1 diabetes have made it possible to optimize metabolic control and reduce the frequency of safety events including hypoglycemia. Technology plays a fundamental role in the glycemic control of these patients and is increasingly used in the world diabetic population. However, changes in lifestyle continue to play a leading role and exercise is considered essential for managing not only diabetes but also associated comorbidities.

Purpose: The present review seeks to reinforce the knowledge from the physiological bases of this dichotomous and strong relationship between physical activity and type 1 diabetes and lay the therapeutic bases focused on the reduction of safety events, mainly hypoglycemia.

Methodology: we conducted a non-systematic search of the literature on type 1 diabetes and physical exercise, including nutritional management, self-monitoring, pharmacological management and technology.

Results: the evidence on type 1 diabetes is ample, however, when applied to physical activity, it is limited. We manage to gather the most important concepts in the approach to these patients and to launch some recommendations for the clinician.

Conclusions: the metabolism of the patient with type 1 diabetes in relation to physical activity is a challenge. There are tools that should be used when prescribing exercise and they are aimed at reducing acute complications and achieving better metabolic control.

Keywords: Type 1 diabetes mellitus, physical activity, nutrition, insulin, continuous glucose monitoring, hybrid closed loop system.

Highlights

- The physiology of exercise in the healthy patient is influenced by multiple hormonal aspects that seek to increase the availability of glucose in the blood and satisfy the needs of the muscle which are up to 50 times increased.
- Metabolic behavior during exercise in the patient with type 1 diabetes is much more unpredictable. The persistently elevated insulin concentrations and its recirculation make for an increased risk of hypoglycemia.
- Management of the patient with type 1 diabetes undergoing exercise should be multidisciplinary. Nutrition, self-monitoring and insulin therapy should be carefully tailored to such circumstances in order to improve metabolic control and avoid adverse events.
- Technology plays a fundamental role in the approach to the physically active patient with type 1 diabetes. It provides tools that facilitate the daily management of the patient and allow closer monitoring of glycemic behavior during physical activity.

Introducción

Basados en su beneficio demostrado de control glucémico por disminución de hemoglobina glicosilada (A1c) y reducción de mortalidad, en su documento oficial la Asociación Americana de Diabetes (ADA) recomienda realizar actividad física a los adolescentes y adultos con diagnóstico de diabetes tipo 1 (1). A pesar de que no existe evidencia acerca de qué tipo de ejercicio es más beneficioso, se establece la necesidad de tres o más sesiones semanales de al menos 60 minutos que podrían ser combinadas entre aeróbico, resistencia o mixto.

Dicha actividad debe ser cuidadosamente planeada, independientemente del tipo de tratamiento insulínico en el cual se encuentre el paciente. Para ello, el uso de la tecnología, incluyendo tanto las bombas de infusión de insulina

como el monitoreo continuo de glucosa, puede tener ventajas tales como la disminución de la variabilidad glucémica y del riesgo de hipoglicemia.

El presente artículo presenta la fisiología del control glucémico durante el ejercicio y las alteraciones que se presentan en los pacientes con diabetes tipo 1 y finalmente las recomendaciones para tener en cuenta a la hora de realizar actividad física y las ventajas y los cuidados que se deben tener en el uso de tecnología para el manejo de la diabetes tipo 1 durante el ejercicio.

Materiales y métodos

Ejercicio en el paciente sano

El ejercicio se clasifica como aeróbico o anaeróbico dependiendo de los sistemas celulares que predominan para la utilización de energía. El

ejercicio aeróbico involucra el movimiento continuo y repetitivo de grandes grupos musculares que dependen principalmente de sistemas productores de energía aeróbica, mientras que los ejercicios de resistencia utilizan peso libre, máquinas, peso corporal o bandas elásticas de resistencia y dependen principalmente de sistemas productores de energía por vía anaeróbica.

Recientemente se habla de un tercer tipo de ejercicio denominado entrenamiento a intervalos de alta intensidad o HIIT (*high intensity interval training*), por sus siglas en inglés, el cual comprende la alternación entre estrechos periodos de intensidad extrema y recuperación con periodos de baja intensidad (2). Los tres tipos de ejercicio son recomendados actualmente a los pacientes con diabetes (1).

En las personas sanas, las respuestas metabólicas a los diferentes tipos de ejercicio pueden variar, sin embargo, un aspecto clave que comparten es el descenso en los niveles de glucosa en sangre, manteniéndose en un rango entre 70–110 mg/dL. Durante el ejercicio aeróbico, la secreción de insulina disminuye y la secreción de glucagón y otras hormonas contra reguladoras aumenta, buscando liberar la glucosa desde el hígado y suplir las necesidades aumentadas de la misma a nivel muscular. De hecho, la captación de glucosa por el músculo durante el ejercicio intenso aumenta hasta 50 veces en personas normales, acción facilitada por las proteínas transmembrana GLUT-4 como se ilustra en la figura 1.

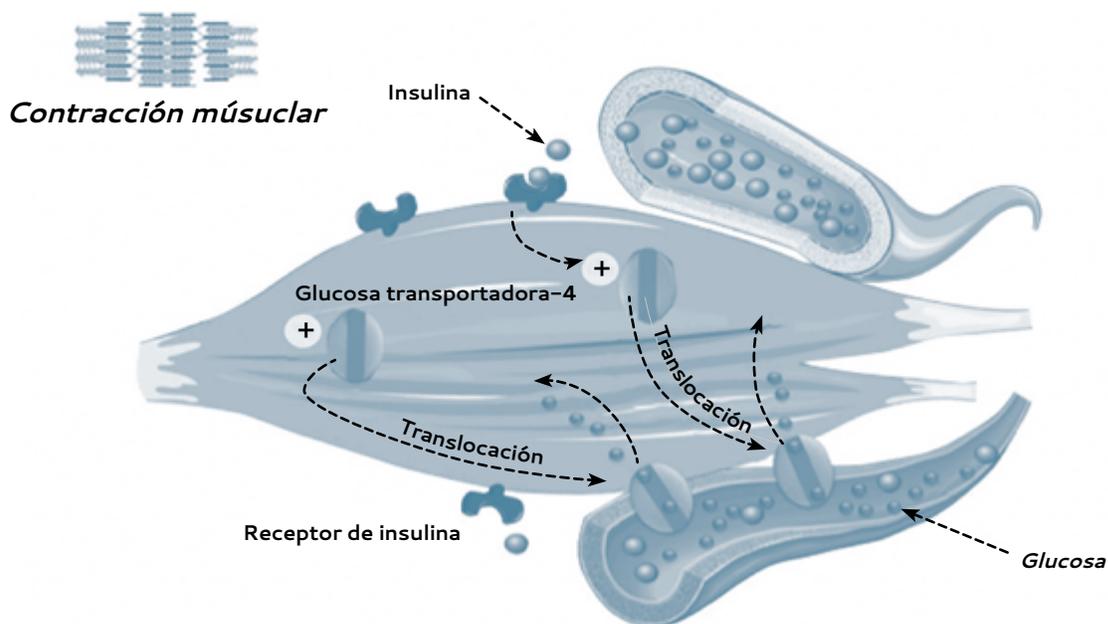


Figura 1. Metabolismo muscular de la glucosa durante la actividad física

Nota aclaratoria: la insulina facilita la activación de proteínas GLUT-4 que permiten el ingreso de glucosa a la célula muscular para ser utilizada en la producción de energía y durante el ejercicio físico dicha captación de glucosa puede aumentar hasta 50 veces.

Fuente: adaptado de 21.

Un aspecto fundamental para un efectivo aumento de las hormonas contra-reguladoras es el descenso de los niveles iniciales de insulina, ya que si no disminuyen, la respuesta es inefectiva y aparecen alteraciones como la hipoglucemia (3). La duración prolongada de la actividad física hace que el combustible proveniente de la glucosa y el glucagón se agote y sea necesario utilizar otras fuentes energéticas como los lípidos.

Entender la fisiopatología y las respuestas metabólicas y neuroendocrinas de los diferentes tipos de ejercicio es fundamental en los pacientes con diabetes tipo 1 para determinar conductas de manejo no farmacológico e insulínico.

Fisiología del ejercicio en el paciente con diabetes tipo 1

En los pacientes con diabetes tipo 1 la respuesta glucémica al ejercicio es influenciada

por la aplicación de insulina, las concentraciones de insulina en sangre, la glucemia posejercicio, la última comida o *snack* y la intensidad y la duración del ejercicio (4).

Durante el ejercicio aeróbico, las concentraciones de glucosa en suero bajan a pesar de la ingesta previa de carbohidratos, debido a que las concentraciones de insulina permanecen anormalmente elevadas e incluso tienden a ascender más al final de la actividad física; con el aumento en las concentraciones de esta hormona se retrasa la lipólisis ante la mayor disponibilidad de glucosa para ser utilizada por el músculo, llevando finalmente a hipoglucemia, la cual se desarrolla generalmente dentro de los primeros 45 minutos de inicio del ejercicio; en la figura 2 utilizamos un monitoreo continuo de glucosa integrado a una bomba de insulina para ilustrar un ejemplo de dicho fenómeno (5).

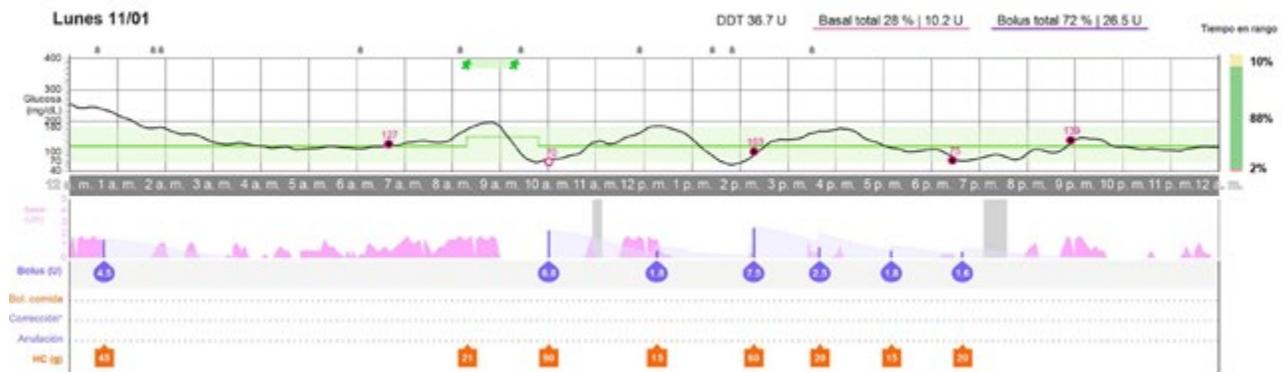


Figura 2. Hipoglucemia durante la actividad física

Nota aclaratoria: trazado de monitoreo de glucosa integrado a bomba de insulina, en el cual se aprecian cinco glucometrías y el comportamiento de la curva glucémica del paciente durante el día. En la parte superior hay dos figuras verdes, correspondientes a la marcación del evento de actividad física, e inmediatamente por debajo de ellas está una línea puntada que sobresale de la línea verde, esta corresponde al objetivo temporal de la bomba (150 mg/dL).

El ejercicio comienza a las 8:15 am aproximadamente y justo a las 10:00 am se presenta un episodio de hipoglucemia nivel I, relacionado a la actividad física. La curva glucémica del resto del día presenta un adecuado comportamiento, sin embargo, se relaciona con alguna tendencia a la hipoglucemia hacia las 6:30 pm. DDT: dosis diaria de insulina, HC: carbohidratos en gramos.

Fuente: elaboración propia con el Medtronic CareLink TM System.

El entrenamiento por intervalos de alta intensidad promueve el aumento en la capacidad oxidativa del músculo esquelético, evitando que se rompa el glucógeno y su utilización a nivel hepático, reservándolo para después de la actividad y por ende disminuyendo el riesgo de hipoglucemia tardía (6). El ejercicio de resistencia en el paciente con diabetes tipo 1 presenta una

mayor estabilidad glucémica comparado con el ejercicio aeróbico, sin embargo, se ha asociado a discretos niveles de hiperglucemia posejercicio, posiblemente debido a un mayor incremento de hormonas contrarreguladoras que restringen la utilización de glucosa (7). En la figura 3 se clasifican los tres tipos de ejercicio y se describen las principales alteraciones de cada uno de ellos.



Figura 3. Objetivo temporal y comportamiento glucémico durante la actividad física

Fuente: adaptado de 21.

El incremento en el riesgo de hipoglicemia puede empezar tempranamente y se extiende hasta 36 horas. Se ha analizado el momento en el cual se percibe un aumento de la sensibilidad a la insulina y la eliminación de la glucosa, encontrando dos picos, el primero inmediatamente después de terminar el ejercicio y el segundo a las 7–11 horas (8).

Un grupo particular de pacientes con diabetes tipo 1 merece ser tenido en cuenta: aquellos con falla autonómica e hipoglicemias inadvertidas secundarias. Puede suceder que la actividad física oculte mucho más los síntomas generales de hipoglicemia y, por lo tanto, con el paso de las horas sea más probable que se instaure de una forma severa (9).

Resultados

Recomendaciones para el manejo del ejercicio en el diabético tipo 1

Generalidades

Siempre que un individuo planea iniciar una actividad física se debe evaluar que se encuentre apto para la misma y que sea seguro implementar un plan de ejercicio físico, por lo que actualmente existen múltiples cuestionarios que responden a esta inquietud y el más utilizado y recomendado continúa siendo el *PAR-Q (Physical activity readiness questionnaire)*, desarrollado por la Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio (10).

Una vez se determina que el paciente es apto, y antes de iniciar un plan de ejercicio, se deben definir las metas individuales para cada persona, dentro de las que destacan: control metabólico, prevención de complicaciones, *fitness*, pérdida de peso o competitivo.

Para todos los casos es esencial monitorizar los valores de glucemia antes, durante y después de la actividad. Si bien las metas de glicemia deben ser individualizadas, en la mayoría de los pacientes se recomienda iniciar con ejercicio aeróbico buscando metas de control entre 126–180 mg/dl, valores por encima de este rango podrían recomendarse en casos puntuales de mayor riesgo de hipoglucemia. En cuanto al ejercicio anaeróbico y el *HIT*, se recomiendan niveles de inicio entre 90–126 mg/dL, dado su menor potencial hipoglucemiante y la mayor estabilidad glucémica durante el ejercicio. Previo al inicio de la actividad, se debe considerar una reducción en la insulina basal o el consumo de carbohidratos de bajo índice glicémico (3).

Manejo nutricional

Las principales estrategias nutricionales que rodean al ejercicio en el paciente con diabetes tipo 1 deben ir encaminadas a mejorar el rendimiento atlético, optimizar el control glucémico y disminuir el riesgo de complicaciones a largo plazo, teniendo en cuenta el plan de manejo farmacológico. Encontrar un balance entre la ingesta calórica y el manejo insulínico es esencial, siendo útiles estrategias como disminuir la dosis del bolo preprandial previo al ejercicio en un 30–50% y favorecer el consumo de carbohidratos con alto índice glucémico durante el ejercicio (30–60 g/h).

Otro aspecto para tener en cuenta es el requerimiento total energético durante el día de la actividad; si bien no existe una guía estricta, se ha recomendado distribuirla de la siguiente manera: 45–65% carbohidratos, 20–35% grasa y 10–35% proteína. Se debe hacer una distinción entre la cantidad basal de carbohidratos necesaria y la cantidad adicional para prevenir los episodios de hipoglucemia, ya que por ejemplo, podrían requerirse 15–20 g/h de carbohidratos para las personas que disminuyen la carga de insulina previa al ejercicio, lo que sería suficiente para un

buen rendimiento, sin embargo, deben adicionarse hasta 75 g/h en pacientes que van a actividades físicas prolongadas (más de 2,5 horas) y de mayor intensidad como maratones y otro tipo de actividades físicas prolongadas (11).

El papel de los carbohidratos de alto y bajo índice glucémico es muy importante en la actividad física. El consumo de comidas con bajo índice glucémico (vegetales verdes, frutas y frutos secos) previo y durante la actividad tiene la capacidad de mantener la disponibilidad de carbohidratos en la sangre, garantizando niveles constantes y controlados de glucemia, mientras que el consumo de snacks con alto índice glicémico (arroz blanco, panadería y cereales) posterior al ejercicio puede mejorar y acelerar la recuperación. Alimentos con bajo índice glucémico se prefieren para actividades de baja y moderada intensidad con duraciones prolongadas, a la hora de acostarse y de forma posprandial, dado que su efecto se puede extender hasta por ocho horas y previene la hipoglucemia nocturna (12).

Hidratación

Un adecuado consumo de líquidos antes, durante y posterior a la actividad física es fundamental. El agua es la mejor opción para actividades de baja intensidad y corta duración. Las bebidas deportivas que contienen de 6–8% de carbohidratos son ideales para actividades de mayor duración e intensidad, ya que buscan prevenir la hipoglucemia. Se debe tener cuidado de no utilizarlas en exceso dado el riesgo de hiperglucemia. Por su parte, las bebidas lácteas que contienen carbohidratos y proteínas podrían funcionar bien después de la actividad para acelerar la recuperación y prevenir la hipoglucemia (13).

Manejo farmacológico

El manejo glucémico comprende, adicionalmente, el monitoreo de glucosa frecuente y los ajustes necesarios de las dosis basales y prandiales de insulina alrededor del ejercicio. Para ello se debe tener en cuenta el tipo de ejercicio físico a practicar, los objetivos individuales del paciente y sus antecedentes de control glucémico.

Generalmente el ejercicio aeróbico requiere de una mayor disminución en las dosis de insulina

y una mayor administración de carbohidratos que el ejercicio de resistencia o las sesiones con intervalos de alta intensidad. Los bolos de insulina pueden reducirse para la comida inmediatamente anterior a la actividad y el consumo adicional de carbohidratos debe considerarse para sesiones de ejercicio de más de 30 minutos de duración. El porcentaje de disminución en la dosis de insulina debe ser proporcional a la duración e intensidad del ejercicio. Se ha demostrado que incluso reducciones del 75% no generan cetonemia durante el ejercicio. Otra estrategia es acompañar esta reducción con el consumo de un snack con bajo índice glucémico inmediatamente antes de la actividad (14).

La hipoglucemia posprandial tardía es producida por la concentración de insulina basal, el aumento en la sensibilidad a la insulina posejercicio y un debilitamiento de la respuesta contrarreguladora, así, disminuir la dosis de insulina basal es una estrategia muy eficaz. Estudios realizados en pacientes con esquemas de tratamiento a base de múltiples dosis de insulina han demostrado que reducir la basal (así como la prandial previa al ejercicio) disminuye el riesgo de hipoglucemia, pero puede desencadenar picos de hiperglucemia en diferentes puntos del día.

En general, las insulinas basales con vida media más corta como NPH y detemir han demostrado llevar a menos hipoglucemia tardía posterior al ejercicio que insulinas de acción más prolongada como la glargina, sin embargo, en el caso de análogos de segunda generación como degludec, se han mostrado grandes beneficios en el control glucémico y la disminución de eventos de hipoglucemia, principalmente nocturna, y si bien su uso podría ser más complejo en el paciente bajo efectos de actividad física, se deben buscar alternativas como disminuir la dosis hasta 48 horas antes de la actividad para aprovechar todo su potencial y usarla en este tipo de pacientes (15).

En general, cuando se va a realizar ejercicio en ayunas se debe considerar la reducción de la basal en un 20%, si el ejercicio se va a realizar cuando el paciente ya ingirió alguna comida del día, esta disminución debe ir acompañada de una reducción del bolo del 25–75% de dicha comida, tal como se mencionó previamente.

Tecnología y ejercicio en diabetes tipo 1

Generalidades

Las personas con diabetes tipo 1 afrontan múltiples retos en cuanto al manejo con insulinas, dado el perfil de seguridad del medicamento y la alta variabilidad en la respuesta. La entrega automatizada de insulina es considerada por clínicos, investigadores, pacientes y educadores, el sistema más avanzado, autónomo y automatizado de la actualidad en lo que respecta al suministro de insulina y la efectividad de la terapia. La búsqueda de un reemplazo fisiológico del páncreas y de una secreción insulínica perfecta ha persistido por décadas, desde la aparición de los primeros dispositivos de infusión (16). Desde la publicación de los primeros estudios, el avance de tecnología en diabetes ha llevado a lograr cada vez metas más estrictas y perfiles de seguridad más completos para el paciente.

Por otro lado, aparece el monitoreo continuo de glucosa (MCG). Desde su introducción en la primera década del 2000 ha tenido un gran impacto en facilitar el perfil de la glucosa y ayudar en el manejo de la diabetes. Con los dispositivos de monitoreo, la medición de glucosa se realiza de forma repetitiva cada 5–10 minutos y de origen intersticial, por medio de un sensor subcutáneo unido a un transmisor en piel que a su vez transmite los datos a una bomba integrada o un dispositivo independiente (17).

Ejercicio y monitoreo continuo de la glucosa

El MCG ha permitido entender mejor los cambios de concentración de glucosa durante el ejercicio, particularmente en las horas inmediatamente posteriores. Un primer estudio observacional se realizó en 25 adolescentes con diabetes tipo 1 con MCG en tiempo real, el cual entregaba alarmas de hipoglucemia y los pacientes tenían la instrucción de ingerir de 8–20 gramos de carbohidratos de rápida acción, dependiendo del valor, con dicho algoritmo se logró mantener un nivel de euglucemia en la mayoría de los pacientes (18). Un estudio más reciente también determinó el beneficio de adicionar un monitoreo continuo

de glucosa a un sistema de apoyo a la de toma de decisiones para los pacientes y el manejo de su diabetes. La unión del MCG les permitió a los pacientes ajustar las dosis de insulina, la ingesta de carbohidratos y la intensidad del ejercicio, obteniendo mejores resultados en cuanto a control glucémico e hipoglucemia (19).

Una posible limitación del MCG es la poca exactitud durante el ejercicio. Una explicación son los rápidos cambios en las concentraciones de glucosa, lo cual retrasa el equilibrio que existe entre compartimentos vascular e intersticial. Por ejemplo, un estudio encontró una diferencia de 25,2 mg/dL entre el reporte de glucosa intersticial medida por MCG (*Medtronic guardian real time system*) y plasmática durante ejercicio aeróbico, implicando una sobreestimación de la glucosa plasmática (20).

Los fabricantes de los dispositivos han utilizado una medida llamada media absoluta de la diferencia relativa (MARD) para evaluar la exactitud de sus dispositivos y lo que hace es comparar la glucosa intersticial, medida por el dispositivo vs. la capilar o venosa. Se ha evaluado dicha medida en diversos estudios bajo ejercicio, encontrando aumento de valores de 13,3% en reposo a 15,1% durante el ejercicio, sin embargo, sin encontrar diferencias entre el tipo de ejercicio (continuo vs. intervalos). Si bien la exactitud del dispositivo desciende, durante la actividad física continúan existiendo valores aceptables de MARD y los pacientes deberían utilizar el dispositivo y sus alarmas para la toma de decisiones que disminuyan el riesgo de hipoglucemia durante la actividad física (21).

Ejercicio y bombas de insulina

La introducción de la infusión de insulina continua subcutánea (CSII) en forma de sistema de bomba ha marcado un avance importante (22). Las bombas de insulina entregan flexibilidad a la hora de simular la entrega fisiológica de insulina por el páncreas, por medio de infusión subcutánea preestablecida, en adición a unos bolos calculados para cubrir las comidas y unos correctivos enviados por el paciente (23).

El uso de bombas de insulina ha demostrado mejorar el control glucémico, reduciendo los

niveles de hemoglobina glucosilada y los eventos de hipoglucemia. En lo que tiene que ver con el ejercicio, son la única opción de tratamiento que permite cambios en la entrega de insulina basal cercanos a la actividad física. De igual forma, cuando se planea una actividad de 90–120 minutos posterior a una comida, permite una reducción del bolo proporcional a la duración e intensidad del ejercicio. Una tercera opción de conducta con el dispositivo es la reducción temporal de la insulina basal al inicio del ejercicio, Franc et al. (24) encontró una disminución de hipoglucemia con esta conducta al inicio del ejercicio.

Algunos estudios recientes han intentado evaluar las estrategias ya mencionadas con los diferentes tipos de ejercicio. Cuando se comparaba disminuir la infusión de insulina basal o dejarla igual en pacientes sometidos a ejercicio interválico de alta intensidad o ejercicio continuo, se encontró que la disminución de la insulina se asociaba a un mejor control glucémico durante el ejercicio, pero el riesgo de hipoglucemia permanecía igual (25). Otros estudios han evaluado suspender completamente la infusión de insulina; un estudio pediátrico con 10 pacientes no encontró diferencias estadísticamente significativas en el riesgo de hipoglucemia con la bomba prendida vs. apagada (26), sin embargo, otro estudio realizado en población adolescente sí encontró una disminución del 43% al 16% en el grupo que apagaba el dispositivo (27).

Cabe recordar que el riesgo de hipoglucemia asociada al ejercicio no se presenta solamente durante la actividad, sino que se puede extender hasta 36 horas posteriores a ella, por lo que se han evaluado otras estrategias como el consumo de un *snack* a la hora de dormir o disminuir la infusión de insulina basal del segmento nocturno. Taplin et al. (28) demostraron en su estudio que los niños con bomba de insulina reducían el riesgo de hipoglucemia nocturna suspendiendo completamente la infusión durante el ejercicio y disminuyéndola un 20% en el segmento de 21:00 horas a 3:00 horas.

La terapia con bomba de insulina, como se pudo demostrar, es altamente flexible y permite realizar múltiples cambios a la hora de realizar una actividad física. Para cada uno de estos abordajes

existen estudios pequeños que han intentado demostrar las ventajas de uno sobre el otro, sin embargo, los resultados son contradictorios y algunos no son concluyentes, lo que hace necesario la realización de más estudios que permitan superar estas dificultades y modificar los algoritmos de tratamiento.

Ejercicio con dispositivos de asa cerrada

Actualmente el sistema *HCL* (híbrido de asa cerrada, por sus siglas en inglés) es el único aprobado por la FDA para su uso en personas con diabetes mellitus tipo 1, mayores de 14 años (29), ya que cuando se encuentra en modo automático, la entrega de insulina basal es completamente autónoma, utilizando un algoritmo que le permite hacer ajustes cada cinco minutos para lograr una meta constante de 120 mg/dl. Dicho algoritmo tiene en cuenta los datos de glucosa del sensor, su tasa de cambio, la cantidad de insulina activa y aspectos de seguridad como la entrega basal máxima específica para el paciente.

El tiempo de insulina activa y los *ratios* de carbohidratos son programados en el momento del entrenamiento y pueden ser ajustados durante el modo automático o manual (30). A diferencia del modo manual, en el modo automático el factor de sensibilidad de la insulina es controlado por medio del algoritmo. A partir de allí, el sistema, utilizando dicho algoritmo, se ajusta cada vez a los requerimientos de insulina de su paciente usando la información de los últimos 2–6 días. El sistema utiliza un sensor de última generación, el cual es significativamente más preciso que sus antecesores, ya que tiene un MARD de 10,6% cuando se calibra cada 12 horas y de 9,6% cuando se hace entre tres y cuatro veces al día, su duración se puede extender hasta siete días. Cuando la insulina basal está en modo automático, el usuario debe continuar calculando carbohidratos y administrándose los bolos de corrección (31).

La autorización para el uso de este dispositivo está basada en un estudio pivotal que incluyó a 124 pacientes con diabetes tipo 1 con un periodo de tiempo en modo manual de dos semanas seguido por tres meses en modo automático. En el estudio no hubo eventos adversos serios y se demostró que usando el dispositivo *HCL* había una mejoría de tiempo en rango, una disminución del tiempo en hipoglicemia y una reducción de HbA1c, tanto en pacientes pediátricos como adultos, todos con diferencias estadísticamente significativas (32).

Como ya se ha mencionado, el ejercicio físico es todo un reto en los pacientes con diabetes tipo 1. Algunos estudios han explorado la necesidad de modificar las infusiones tanto de la insulina basal como de los bolos. Las modificaciones de la basal incluyen la reducción pre-ejercicio y en algunos casos también de segmentos nocturnos. Una característica del modo automático es una “meta temporal”, la cual en algunas ocasiones se ha recomendado fijar en 150 mg/dl. La duración de este objetivo temporal puede ir de 30 minutos a 12 horas y la recomendación inicial es fijarla de 1 a 2 horas antes de la actividad y hasta 1 o 2 horas después, la figura 4 ilustra un ejemplo en el cual el paciente activa el modo temporal durante 1 hora y refleja la buena respuesta posterior al ejercicio.

Se han evaluado otros aspectos como la hora del día para realizar la actividad física y disminuir el riesgo de hipoglicemia. Un estudio realizado en Bogotá (Colombia) comparó el ejercicio físico en la mañana contra la tarde y encontró una disminución estadísticamente significativa en la razón de tasas de incidencia de hipoglicemia en el grupo de pacientes que lo realizaban en la mañana y, además, mejoraron todas las métricas de control glucémico comparadas con el otro grupo. Adicionalmente, se determinó que el riesgo de hipoglucemia podría extenderse hasta 36 horas en algunos pacientes (33).

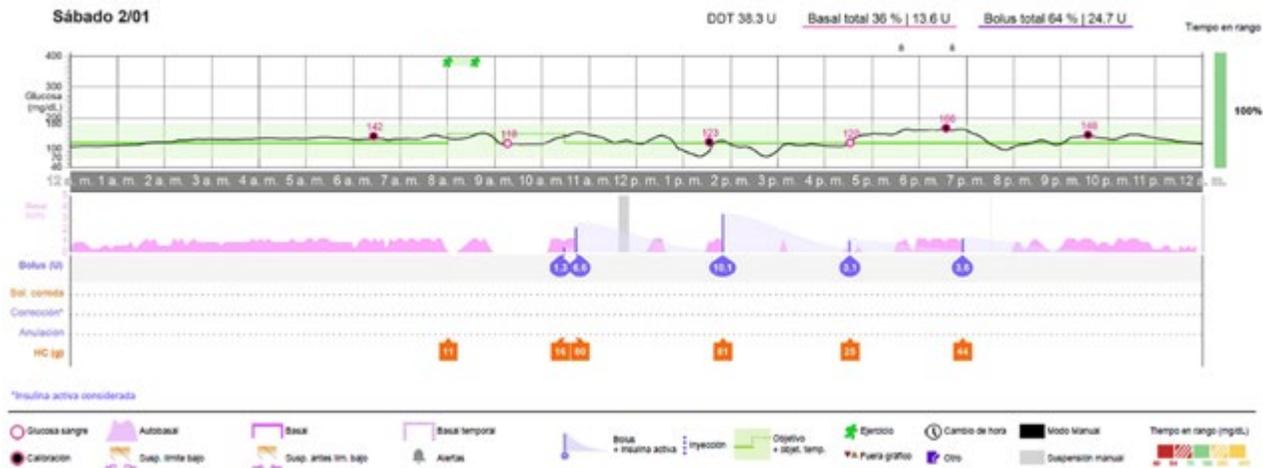


Figura 4.

Nota aclaratoria: trazado de monitoreo continuo de glucosa integrado a la bomba de insulina, en el cual se aprecian seis glucometrías y el comportamiento de la curva glucémica del paciente durante el día. En la parte superior hay dos figuras verdes correspondientes a la marcación del evento de actividad física e inmediatamente por debajo de ellas está una línea punteada que sobresale de la línea verde, correspondiente al objetivo temporal de la bomba (150 mg/dL).

El ejercicio comienza a las 8:00 am y el objetivo temporal se extiende hasta las 10:30 am. Se observa un muy buen control glucémico durante el día, con ausencia de episodios de hipoglucemia, con consumo de carbohidratos, las dosis de insulina correspondientes y un tiempo en rango del 100% durante las 24 horas.

DDT: dosis diaria total de insulina, **HC:** carbohidratos en gramos.

Fuente: elaboración propia con el Medtronic CareLink TM System.

Discusión

Muchos tratamientos y conductas se encuentran en investigación, principalmente en el ámbito de tecnología en diabetes, la cual surge como una herramienta muy eficaz para disminuir el riesgo de complicaciones, principalmente hipoglucemia en este tipo de pacientes y que, por ende, se siga recomendando ampliamente el ejercicio físico como parte del manejo integral del paciente con diabetes tipo 1.

Conclusión

La actividad física es un componente fundamental del estilo de vida saludable y aparece como primera línea de tratamiento en enfermedades crónicas, entre ellas la diabetes tipo 1. Sus eventos fisiológicos están suficientemente estudiados y la evidencia respalda abiertamente su uso en aras de prevenir complicaciones a largo plazo.

El metabolismo del paciente con diabetes tipo 1 representa un reto a la hora de entender los cambios a nivel orgánico que conlleva la actividad física. Eventos adversos como hipo o hiperglucemia pueden aparecer como complicaciones en la mayoría de los pacientes que se someten a ejercicio físico.

El tratamiento del paciente con diabetes tipo 1 es multifactorial, desde la nutrición, pasando por el manejo farmacológico y finalmente llegando a la tecnología, existen herramientas que se deben utilizar a la hora de prescribir ejercicio y van encaminadas a disminuir complicaciones agudas, permitiendo al mismo tiempo que el ejercicio siga siendo recomendado y se aprovechen sus efectos en el largo plazo. Por lo anterior, es fundamental que el clínico se familiarice con estos conceptos y tenga la capacidad de utilizarlos en la práctica diaria.

Declaración de fuentes de financiación

Este artículo de revisión no recibió ningún soporte financiero.

Conflictos de interés

Ana María Gómez reporta honorarios como conferencista de Novo Nordisk, Elli Lilly, Boehringer Ingelheim, Abbott y Medtronic. El resto de los autores declaran no tener conflictos de interés.

Abreviaciones

ADA: Asociación Americana de Diabetes, **CSII:** infusión de insulina continua subcutánea, **FDA:** Administración de Medicamentos y Alimentos, **GLUT-4:** transportadores de glucosa tipo 4, **HbA1c:** hemoglobina glucosilada, **HCL:** sistema híbrido de asa cerrada, **HIIT:** ejercicio por intervalos de alta intensidad, **MARD:** media absoluta de la diferencia relativa, **MCG:** monitoreo continuo de glucosa, **PAR-Q:** cuestionario de preparación para la actividad física.

Referencias

- [1] Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, Riddell M, Dunstan D, Dempsey P, et al. Physical activity/exercise and diabetes: A position statement of the american diabetes association. *Diabetes Care.* 2016;39(11):2065–79. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc16-1728>
- [2] Camacho RC, Galassetti P, Davis SN, Wasserman DH. Glucoregulation during and after exercise in health and insulin-dependent diabetes. *Exerc Sport Sci Rev.* 2005;33(1):17–23.
- [3] Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin C, Adolfsson P, Lumb A, et al. Exercise management in type 1 diabetes: A consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2017;5(5):377–90. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30014-1](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30014-1)
- [4] Bally L, Laimer M, Stettler C. Exercise-associated glucose metabolism in individuals with type 1 diabetes mellitus. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2015;18(4):428–33. DOI: <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000185>
- [5] Mallad A, Hinshaw L, Schiavon M, Dalla-Man C, Dadlani V, Basu R, et al. Exercise effects on postprandial glucose metabolism in type 1 diabetes: a triple-tracer approach. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2015;308(12):E1106–E1115. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00014.2015>
- [6] Harmer AR, Chisholm DJ, McKenna MJ, Hunter S, Ruell P, Naylor J, et al. Sprint training increases muscle oxidative metabolism during high-intensity exercise in patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care.* 2008;31(11):2097–102. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc08-0329>
- [7] Turner D, Luzio S, Gray BJ, Dunseath G, Rees ED, Kilduff LP, et al. Impact of single and multiple sets of resistance exercise in type 1 diabetes. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25(1):e99–109. DOI: <https://doi.org/10.1111/sms.12202>
- [8] McMahon SK, Ferreira LD, Ratnam N, Davey RJ, Youngs LM, Davis EA, et al. Glucose requirements to maintain euglycemia after moderate-intensity afternoon exercise in adolescents with type 1 diabetes are increased in a biphasic manner. *J Clin Endocrinol Metab.* 2007;92(3):963–8. DOI: <https://doi.org/10.1210/jc.2006-2263>
- [9] Brazeau AS, Rabasa-Lhoret R, Strychar I, Mircescu H. Barriers to physical activity among patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care.* 2008;31(11):2108–9. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc08-0720>
- [10] Warburton DE, Jamnik V, Bredin SS, Shephard RJ, Gledhill N. The 2018 Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone (PAR-Q+) and electronic Physical Activity Readiness Medical Examination (ePARmed-X+): 2018 PAR-Q+. *Health Fit J Can.* 2018;11(1):31–4. DOI: <https://doi.org/10.14288/hfjc.v11i1.260>

- [11] Adolfsson P, Mattsson S, Jendle J. Evaluation of glucose control when a new strategy of increased carbohydrate supply is implemented during prolonged physical exercise in type 1 diabetes. *Eur J Appl Physiol* 2015;115:2599–607. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3251-4>
- [12] Campbell MD, Walker M, Trenell MI, Stevenson E, Turner D, Bracken R, et al. A low-glycemic index meal and bedtime snack prevents postprandial hyperglycemia and associated rises in inflammatory markers, providing protection from early but not late nocturnal hypoglycemia following evening exercise in type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2014;37:1845–53. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc14-0186>
- [13] Hernández JM, Moccia T, Fluckey JD, Ulbrecht JS, Farrell PA. Fluid snacks to help persons with type 1 diabetes avoid late onset postexercise hypoglycemia. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:904–10. DOI: <https://doi.org/10.1097/00005768-200005000-00005>
- [14] Bracken RM, West DJ, Stephens JW, Kilduff LP, Luzio S, Bain SC. Impact of pre-exercise rapid-acting insulin reductions on ketogenesis following running in type 1 diabetes. *Diabetic Med*. 2011;28:218–22. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2010.03162.x>
- [15] Arutchelvam V, Heise T, Dellweg S, Elbroend B, Minns I, Home PD. Plasma glucose and hypoglycaemia following exercise in people with type 1 diabetes: a comparison of three basal insulins. *Diabetic Med*. 2009;26:1027–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2009.02807.x>
- [16] Thabit H, Hovorka R. The future of the artificial pancreas. *Diabetes Technol Ther*. 2015;17(11):763–5. DOI: <https://doi.org/10.1089/dia.2015.0297>
- [17] Gandhi GY, Kovalaske M, Kudva Y, Walsh K, Elamin MB, Beers M, et al. Efficacy of continuous glucose monitoring in improving glycemic control and reducing hypoglycemia: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *J Diabetes Sci Technol*. 2011;5:952–65. DOI: <https://doi.org/10.1177/193229681100500419>
- [18] Riddell MC, Milliken J. Preventing exercise-induced hypoglycemia in type 1 diabetes using real-time continuous glucose monitoring and a new carbohydrate intake algorithm: an observational field study. *Diabetes Technol Ther*. 2011;13:819–25. DOI: <https://doi.org/10.1089/dia.2011.0052>
- [19] J, Pinnata J, et al. Continuous glucose monitoring and insulin informed advisory system with automated titration and dosing of insulin reduces glucose variability in type 1 diabetes mellitus. *Diabetes Technol Ther*. 2018;20:531–40. DOI: <https://doi.org/10.1089/dia.2018.0079>
- [2] Radermecker RP, Fayolle C, Brun JF, Bringer J, Renard E. Accuracy assessment of online glucose monitoring by a subcutaneous enzymatic glucose sensor during exercise in patients with type 1 diabetes treated by continuous subcutaneous insulin infusion. *Diabetes Metab*. 2013;39:258–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2012.12.004>
- [21] Tagougui S, Taleb N, Rabasa-Lhoret R. The benefits and limits of technological advances in glucose management around physical activity in patients type 1 Diabetes. *Front Endocrinol*. 2019;9:818. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00818>
- [22] Lenhard MJ, Reeves GD. Continuous subcutaneous insulin infusion: a comprehensive review of insulin pump therapy. *Arch Intern Med*. 2001;161:2293–300. DOI: <https://doi.org/10.1001/archinte.161.19.2293>
- [23] Pickup J, Keen H. Continuous subcutaneous insulin infusion at 25 years: evidence base for the expanding use of insulin pump therapy in type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2002;25:593–8. DOI: <https://doi.org/10.2337/diacare.25.3.593>
- [24] Franc S, Daoudi A, Pochat A, Petit MH, Randazzo C, Petit C, et al. Insulin-based strategies to prevent hypoglycaemia

- during and after exercise in adult patients with type 1 diabetes on pump therapy: the DIABRASPORT randomized study. *Diabetes Obes Metab.* 2015;17:1150-7. doi: <https://doi.org/10.1111/dom.12552>
- [25] Zaharieva D, Yavelberg L, Jamnik V, Cinar A, Turksoy K, Riddell MC. The effects of basal insulin suspension at the start of exercise on blood glucose levels during continuous versus circuit-based exercise in individuals with type 1 diabetes on continuous subcutaneous insulin infusion. *Diabetes Technol Ther.* 2017;19:370-8. doi: <https://doi.org/10.1089/dia.2017.0010>
- [26] Admon G, Weinstein Y, Falk B, Weintrob N, Benzaquen H, Ofan R, et al. Exercise with and without an insulin pump among children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. *Pediatrics.* 2005;116:e348-55. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2004-2428>
- [27] Diabetes Research in Children Network (DirecNet) Study Group, Tsalikian E, Kollman C, Tamborlane WB, Beck RW, Fiallo-Scharer R, et al. Prevention of hypoglycemia during exercise in children with type 1 diabetes by suspending basal insulin. *Diabetes Care.* 2006;29:2200-4. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc06-0495>
- [28] Taplin CE, Cobry E, Messer L, McFann K, Chase HP, Fiallo-Scharer R. Preventing post-exercise nocturnal hypoglycemia in children with type 1 diabetes. *J Pediatr.* 2010;157:784-8.e1. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.06.004>
- [29] Food and Drug Administration. FDA approves first automated insulin delivery device for type 1 diabetes [Internet] [accedido en 2018 my. 19]. Disponible en: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm522974.htm>
- [30] Cohen O, Vigersky RA, Lee SW, Cordero TL, Kaufman FR. Automated insulin delivery system nomenclature. *Diabetes Technol Ther.* 2017;19(6):379-80. DOI: <https://doi.org/10.1089/dia.2017.0073>
- [31] Aleppo G, Webb KM. Integrated insulin pump and continuous glucose monitoring technology in diabetes care today: A perspective of real-life experience with the minimed™ 670g hybrid closed-loop system. *Endocr Pract.* 2018;24(7):684-92. DOI: <https://doi.org/10.4158/EP-2018-0097>
- [32] Garg SK, Weinzimer SA, Tamborlane WV, Buckingham B, Bode B, Bailey T, et al. Glucose outcomes with the in-home use of a hybrid closed-loop insulin delivery system in adolescents and adults with type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther.* 2017;19(3):155-63. DOI: <https://doi.org/10.1089/dia.2016.0421>
- [33] Gómez AM, Gómez C, Aschner P, Veloza A, Muñoz O, Rubio C, et al. Effects of performing morning versus afternoon exercise on glycemic control and hypoglycemia frequency in type 1 diabetes patients on sensor-augmented insulin pump therapy. *J Diabetes Sci Technol.* 2015;9(3):619-24. DOI: <https://doi.org/10.1177/1932296814566233>