

Módulo 3. Monitorización continua de glucemia con *wearables*

Dispositivos de monitoreo continuo de glucosa (CGM)

Principios de funcionamiento de los CGM

Los dispositivos de monitoreo continuo de glucosa (CGM, por sus siglas en inglés: *continuous glucose monitoring*) han revolucionado el manejo de la diabetes y, más recientemente, han comenzado a integrarse en el ámbito del deporte como herramientas de control metabólico, evaluación del rendimiento y optimización nutricional.

A diferencia de los glucómetros tradicionales, que ofrecen una medición puntual de la glucemia capilar, los CGM permiten una monitorización continua y en tiempo real de los niveles de glucosa en el líquido intersticial, generando una curva dinámica que refleja las oscilaciones metabólicas del organismo a lo largo del día y durante el ejercicio.

Los sensores CGM funcionan a partir de los siguientes principios:

- Inserción subcutánea de un microfilamento enzimático que reacciona con la glucosa en el fluido intersticial,
- Producción de una señal eléctrica proporcional a la concentración de glucosa, que se transmite al dispositivo receptor (lector, *smartphone* o *smartwatch*).
- Interpretación de esta señal mediante algoritmos que proporcionan valores estimados de glucemia cada pocos minutos (habitualmente entre 1 y 5 minutos).
- Emisión de tendencias y predicciones por parte de muchos dispositivos, alertando al usuario si la glucosa está subiendo o bajando rápidamente.

Aunque la medición se realiza en el fluido intersticial y no directamente en sangre, la correlación con la glucemia capilar es alta, con un margen de error que ha disminuido progresivamente en las últimas generaciones de sensores.

Sensores subcutáneos y no invasivos

La mayoría de los CGM actuales utilizan sensores subcutáneos colocados en la parte posterior del brazo, abdomen o flanco lateral, con una vida útil de entre 7 y 14 días. Están diseñados para resistir el sudor, el movimiento y el contacto con el agua, y algunos incluso

permiten su uso durante actividades físicas intensas o deportes de contacto, aunque con ciertas limitaciones.

Los principales tipos de sensores son los siguientes:

- **Sensores enzimáticos tradicionales.** Por ejemplo, el FreeStyle Libre o el Dexcom G6, que utilizan una reacción con glucosa oxidasa para generar la señal.
- **Sensores con tecnología de microagujas:** minimizan la invasividad y mejoran la comodidad.
- **Sensores implantables de larga duración:** por ejemplo, el Eversense, que se colocan bajo la piel mediante un procedimiento ambulatorio y pueden durar hasta 90 días.
- **Dispositivos no invasivos en desarrollo:** basados en espectroscopía, bioimpedancia o sensores ópticos transcutáneos. Aunque son prometedores, todavía presentan limitaciones en precisión y fiabilidad.

La tendencia actual es hacia **sensores más pequeños, cómodos, discretos, con mayor duración y sin necesidad de calibración**, lo que facilita su uso diario y su integración en contextos deportivos.

Tecnología de medición intersticial

La glucosa intersticial refleja de manera aproximada la concentración plasmática de glucosa, pero con un pequeño desfase temporal (*lag*) que varía entre 5 y 15 minutos. Este retraso debe tenerse en cuenta especialmente durante cambios rápidos, como el inicio de un ejercicio de alta intensidad, el consumo de carbohidratos de alto índice glucémico o los episodios de hipo o hiperglucemia.

Aun así, la información en tendencia que proporcionan los CGM es más valiosa que un valor aislado, ya que permite anticipar situaciones críticas y tomar decisiones informadas sobre el consumo de carbohidratos, la duración del esfuerzo o la necesidad de descanso

Dispositivos disponibles y características clave

En el mercado actual existen varios dispositivos CGM ampliamente utilizados y con aplicaciones crecientes en el ámbito deportivo. A continuación, se describen los principales modelos disponibles.

- **FreeStyle Libre (Abbott).** Este sensor tiene una duración de 14 días y permite el escaneo mediante un lector específico o una aplicación móvil. Ofrece visualización del historial y las tendencias de glucosa sin necesidad de calibración capilar. Es muy utilizado por deportistas con diabetes tipo 1 y tipo 2 debido a su facilidad de uso y a la comodidad que ofrece durante el ejercicio.

- **Dexcom G6 y G7 (Dexcom Inc.).** Estos modelos permiten la transmisión continua de datos por Bluetooth, cuentan con alarmas personalizables para híper e hipoglucemias, y son compatibles con múltiples plataformas digitales. Se integran fácilmente con relojes inteligentes y aplicaciones de entrenamiento, lo que los convierte en una opción muy valorada en contextos deportivos que requieren monitoreo constante y en tiempo real.
- **Eversense (Senseonics).** Se trata de un sensor implantable de hasta 90 días de duración, que se coloca bajo la piel mediante un procedimiento ambulatorio. Requiere calibración dos veces al día y utiliza un transmisor externo que vibra para alertar al usuario. Aunque su uso en el deporte todavía es limitado, presenta un gran potencial gracias a su duración prolongada y al bajo perfil invasivo durante el uso diario.
- **Supersapiens (base Libre Sense).** Esta plataforma está orientada a deportistas sin diabetes y permite la lectura continua de glucosa durante entrenamientos y competiciones. Se utiliza exclusivamente con fines de optimización nutricional y rendimiento deportivo, sin fines médicos. Ha tenido una gran acogida entre triatletas, ciclistas y corredores de ultrafondo, que lo emplean para planificar estrategias de consumo energético personalizadas.

Estos dispositivos presentan diferencias en términos de precisión, duración, conectividad, tamaño, facilidad de uso y compatibilidad con otros *wearables*, lo que permite elegir la opción más adecuada según las necesidades individuales de cada usuario.

Duración, calibración y conectividad

Uno de los avances más importantes ha sido la eliminación progresiva de la necesidad de calibración capilar diaria. Muchos dispositivos actuales vienen calibrados de fábrica y mantienen una desviación promedio inferior al 10 % respecto de los valores plasmáticos. Esto aumenta la comodidad y la fiabilidad de uso durante el entrenamiento o la competición.

En cuanto a la conectividad, los CGM modernos ofrecen las siguientes funciones:

- transmisión por Bluetooth a aplicaciones móviles;
- sincronización con relojes deportivos y ciclocomputadores;
- exportación de datos para análisis posterior;
- alertas visuales, auditivas o por vibración.

La duración de los sensores varía entre 7 y 14 días en los modelos convencionales y hasta 90 días en los implantables. Esta duración condiciona el coste mensual y la planificación logística en deportistas que entrenan a diario o compiten regularmente.

Integración con dispositivos móviles y wearables

Una de las claves del éxito de los CGM en el deporte es su interacción con otros dispositivos de monitorización, lo que permite cruzar los datos de glucemia con variables como la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), el ritmo, la velocidad, la potencia, la sensación subjetiva de esfuerzo (RPE), la carga externa y las zonas de entrenamiento.

Gracias a esta integración, los entrenadores pueden comprender mejor cómo responde el metabolismo del atleta a distintos estímulos, adaptar la nutrición a la demanda energética y ajustar las pausas o las ingestas en deportes de larga duración.

Alertas y notificaciones personalizadas

Los CGM permiten configurar alertas ante valores extremos o tendencias preocupantes, por ejemplo:

- glucosa inferior a 70 mg/dL o superior a 180 mg/dL;
- descensos bruscos (más de 20 mg/dL en 5 minutos);
- glucosa baja antes de iniciar ejercicio;
- tendencias inestables durante la noche o la recuperación.

Estas alertas pueden presentarse en el teléfono móvil, *smartwatch* o mediante vibración del transmisor externo (como en Eversense). Esto permite una respuesta inmediata del deportista, como ingerir carbohidratos, reducir la intensidad o finalizar la actividad si es necesario.

Análisis de tendencias y patrones glucémicos

Más allá de los valores puntuales, los CGM generan gráficos que permiten observar patrones a lo largo del día, como la variabilidad glucémica en las 24 horas, las curvas de respuesta a las comidas, el tiempo en rango (TIR), entendido como el porcentaje del día en que la glucosa se mantiene dentro del rango objetivo, la respuesta glucémica al ejercicio aeróbico en comparación con el anaeróbico, y el efecto del sueño, el estrés o la recuperación sobre el control glucémico.

Este análisis longitudinal es fundamental para personalizar la alimentación, adaptar las cargas de entrenamiento y mejorar el conocimiento del propio cuerpo, especialmente en deportes donde la glucosa juega un papel crítico en el rendimiento y la toma de decisiones.

Beneficios para atletas diabéticos y no diabéticos

Los CGM surgieron como herramientas para personas con diabetes, pero actualmente también se utilizan en atletas sanos como recurso de optimización metabólica. Entre sus beneficios se encuentran los siguientes:

- **En atletas con diabetes**, permiten un control más preciso de la glucemia durante el entrenamiento y la competición, ayudan a prevenir hipoglucemias severas, reducen la necesidad de punciones y favorecen una mayor autonomía.
- **En atletas sin diabetes**, facilitan la comprensión de cómo responde la glucosa a distintos tipos de carbohidratos, permiten ajustar el momento y la cantidad de la ingesta durante el esfuerzo, y contribuyen a evitar caídas glucémicas que puedan comprometer el rendimiento.

En ambos casos, el uso de CGM mejora el autoconocimiento, favorece la toma de decisiones informadas y permite planificar estrategias más eficaces para el entrenamiento, la nutrición y la competición.

Control metabólico y rendimiento

Mantener niveles estables de glucosa durante el ejercicio es clave para sostener el rendimiento aeróbico, evitar la fatiga prematura y facilitar la recuperación posterior. Gracias a los CGM, los deportistas pueden:

- ajustar el ritmo de carrera o pedaleo en función de su estado energético;
- identificar momentos críticos de caída glucémica y prevenirlos con ingestas proactivas;
- planificar ingestas de carbohidratos más precisas en función de la intensidad y duración del esfuerzo;
- evaluar la eficiencia de la estrategia nutricional utilizada en sesiones anteriores.

Esto convierte al CGM en una herramienta esencial no solo para la salud, sino también para la **optimización del rendimiento deportivo**.

Prevención de hipoglucemias e hiperglucemias

Las hipoglucemias, especialmente en deportes de larga duración, pueden tener consecuencias negativas tanto a corto como a largo plazo, como una reducción drástica del rendimiento, riesgo de desmayos o accidentes, y alteraciones cognitivas que afectan el juicio y la toma de decisiones.

Por otro lado, las hiperglucemias prolongadas también comprometen el rendimiento y aumentan el riesgo de complicaciones en personas con diabetes. El uso de CGM permite

prevenir ambos escenarios gracias al monitoreo constante, la emisión de alertas predictivas y la posibilidad de intervenir de forma temprana mediante ajustes nutricionales o modificaciones en la carga de entrenamiento.

Reflexión final del bloque

Los sistemas de monitoreo continuo de glucosa (CGM) han dejado de ser herramientas exclusivas para el control de la diabetes, convirtiéndose en tecnologías clave para el rendimiento deportivo y la nutrición personalizada. Dada su capacidad para registrar la dinámica y las tendencias glucémicas en tiempo real, permiten a los atletas comprender mejor su metabolismo y anticiparse a desequilibrios energéticos. Al integrarse con otros dispositivos y métricas fisiológicas, los CGM contribuyen a una visión holística del estado del deportista, favoreciendo una preparación más inteligente, segura y eficiente.

Aplicaciones en el entrenamiento deportivo

Integración de datos glucémicos en programas de entrenamiento

La incorporación de los datos provenientes de los sistemas de monitoreo continuo de glucosa (CGM) en la planificación y el control del entrenamiento deportivo representa un nuevo paradigma en la personalización del rendimiento. Mientras que tradicionalmente la planificación del entrenamiento se ha basado en la frecuencia cardíaca, la percepción subjetiva del esfuerzo o la potencia, hoy es posible incluir variables metabólicas en tiempo real, como la glucosa, para afinar aún más el estímulo y evitar situaciones de riesgo energético.

La integración de datos glucémicos en los programas de entrenamiento permite:

- ajustar la intensidad del entrenamiento en función del estado energético del deportista al inicio de la sesión;
- tomar decisiones sobre la necesidad de ingesta de carbohidratos durante el ejercicio según la pendiente de descenso glucémico;
- planificar sesiones en ayunas, depletadas o con carga previa de carbohidratos con mayor seguridad;
- observar el impacto metabólico de sesiones de diferentes características (HIIT, fondo aeróbico, entrenamiento concurrente);
- estimar la eficiencia del metabolismo energético en función de la estabilidad glucémica.

Estos datos pueden ser especialmente útiles en contextos como el entrenamiento por bloques, la preparación de pruebas de ultraresistencia, los entrenamientos dobles diarios o el manejo de cargas altas en deportes de equipo.

Ajuste de cargas según disponibilidad energética

La glucosa circulante es uno de los principales sustratos energéticos utilizados durante el ejercicio, y su disponibilidad condiciona directamente la capacidad de mantener el esfuerzo, la estabilidad neuromuscular y la toma de decisiones cognitivas. Los CGM permiten al entrenador o al propio deportista ajustar la carga interna de la sesión teniendo en cuenta:

- si el deportista comienza la sesión en normoglucemia, hipoglucemia o con una tendencia descendente;
- la velocidad de disminución de glucosa durante los primeros minutos de entrenamiento;
- la capacidad del organismo para recuperar niveles normales en los períodos de pausa o descanso activo;
- las diferencias en la respuesta glucémica según el momento del día o el contenido de la última comida.

De este modo, es posible modular la duración, la intensidad y el tipo de estímulo de manera dinámica y personalizada, lo cual resulta esencial en deportistas con elevada exigencia energética diaria o con condiciones médicas particulares.

Optimización de estrategias nutricionales

Una de las áreas más beneficiadas por el uso de CGM en deporte es la **nutrición deportiva aplicada**. Gracias al seguimiento continuo de la glucemia, los nutricionistas pueden:

- Evaluar la respuesta a diferentes tipos y combinaciones de carbohidratos.
- Identificar alimentos o bebidas que provocan picos excesivos o caídas rápidas.
- Ajustar el índice glucémico de las comidas precompetitivas para mejorar el control energético.
- Determinar el momento más oportuno para la ingesta de suplementos durante el entrenamiento o competición.
- Comprobar la eficacia de bebidas isotónicas, geles, barritas y soluciones personalizadas.

En este sentido, los CGM permiten diseñar estrategias que equilibran la energía disponible con la demanda del esfuerzo, evitando tanto las hipoglucemias como las

hiperglucemias rebote. Además, permiten validar si la estrategia teórica planteada se traslada correctamente a la respuesta fisiológica del organismo.

Personalización de la ingesta de carbohidratos

Una de las áreas más beneficiadas por el uso de CGM en deporte es la nutrición deportiva aplicada. Gracias al seguimiento continuo de la glucemia, los nutricionistas pueden:

- evaluar la respuesta a diferentes tipos y combinaciones de carbohidratos;
- identificar alimentos o bebidas que provocan picos excesivos o caídas rápidas;
- ajustar el índice glucémico de las comidas precompetitivas para mejorar el control energético;
- determinar el momento más oportuno para la ingesta de suplementos durante el entrenamiento o la competición;
- comprobar la eficacia de bebidas isotónicas, geles, barritas y soluciones personalizadas.

En este sentido, los CGM permiten diseñar estrategias que equilibran la energía disponible con la demanda del esfuerzo, evitando tanto las hipoglucemias como las hiperglucemias rebote. Además, permiten validar si la estrategia teórica planteada se traduce correctamente en una respuesta fisiológica adecuada.

Timing y tipo de carbohidratos consumidos

Los datos obtenidos por los CGM permiten comprender de manera más precisa el efecto del tiempo y el tipo de carbohidratos consumidos en el rendimiento deportivo:

- Los carbohidratos de alto índice glucémico (como glucosa o maltodextrina) elevan rápidamente la glucemia, pero también pueden generar caídas bruscas si no se ajusta la dosis.
- Los carbohidratos de bajo índice glucémico (avena, plátano maduro, pan integral) generan curvas más planas y sostenidas, útiles en esfuerzos prolongados.
- El consumo de carbohidratos justo antes del ejercicio puede provocar una hipoglucemia reactiva en algunas personas sensibles, fenómeno detectable con los CGM.
- La ingesta durante la recuperación debe adaptarse no solo al tipo de entrenamiento realizado, sino al perfil glucémico pos ejercicio, que puede mostrar hiperglucemia por liberación de catecolaminas o hipoglucemia por agotamiento de reservas.

Esta información permite diseñar esquemas nutricionales más eficaces, mejor tolerados y orientados a optimizar el rendimiento tanto agudo como crónico.

Impacto en la recuperación y rendimiento

El monitoreo continuo de la glucosa también aporta información valiosa para entender los procesos de recuperación fisiológica y metabólica, fundamentales para la adaptación al entrenamiento. Entre los parámetros útiles se encuentran los siguientes:

- La velocidad con que se restablecen niveles normales de glucosa tras una sesión exigente.
- La variabilidad glucémica nocturna, que puede reflejar el estado del sistema nervioso autónomo.
- La respuesta glucémica a las comidas posentrenamiento, indicador indirecto de sensibilidad a la insulina.
- La presencia de hipoglucemias tardías, especialmente en entrenamientos de intensidad elevada.

Estos datos pueden ayudar a identificar cuándo un atleta necesita un descanso más prolongado, cuándo una comida fue insuficiente o cuándo se requiere un ajuste en la estrategia de recuperación.

Estudios de caso y experiencias prácticas

En los últimos años, se han publicado diversos estudios de caso y experiencias prácticas de atletas de élite utilizando CGM en la planificación deportiva. A continuación, se mencionan algunos ejemplos representativos:

- Triatletas profesionales que ajustan la ingesta de geles en función de la pendiente glucémica durante el ciclismo.
- Corredores de ultramaratón que detectan hipoglucemias en fases de sueño o fatiga extrema.
- Ciclistas en pruebas por etapas que analizan las curvas glucémicas para planificar las comidas previas a cada jornada.
- Futbolistas que identifican alteraciones metabólicas los días posteriores al partido, correlacionadas con fatiga residual.

Estos ejemplos muestran que el uso del CGM no se limita a la prevención de la hipoglucemia, sino que se integra como una herramienta estratégica de alto valor para el rendimiento y la recuperación.

Atletas de resistencia y deportes de equipo

El CGM puede adaptarse tanto a deportes de resistencia como a deportes intermitentes. En atletas de resistencia (triatlón, ciclismo, atletismo, remo), el uso del CGM se centra en:

- asegurar el suministro continuo de glucosa;
- evitar picos y caídas que comprometan la eficiencia energética;
- maximizar la oxidación de carbohidratos cuando es necesario;
- favorecer la oxidación de grasas en momentos específicos.

En deportes de equipo —como fútbol, balonmano, hockey—, donde la carga es intermitente y variable, el CGM puede:

- identificar momentos de alto coste energético;
- ajustar la nutrición prepartido o en los descansos;
- controlar la recuperación entre sesiones o durante torneos.

Además, su aplicación en situaciones de calor, humedad o altitud permite prevenir eventos de hipoglucemia secundaria a un mayor gasto energético o dificultad en la absorción digestiva.

Resultados y mejoras observadas

Diversos estudios y reportes prácticos han mostrado que el uso de CGM en el deporte puede:

- reducir los episodios de hipoglucemia durante la actividad física;
- mejorar el tiempo en rango glucémico óptimo;
- incrementar la conciencia sobre la relación entre alimentación, entrenamiento y metabolismo;
- favorecer una mejor adherencia a estrategias nutricionales;
- aumentar la confianza del atleta en su preparación fisiológica y energética.

Estos beneficios no solo impactan en el rendimiento inmediato, sino que también contribuyen a una mejor educación metabólica del deportista y a una mayor autonomía en la toma de decisiones.

Consideraciones éticas y de privacidad

El uso de sistemas de monitoreo continuo de glucosa (CGM) implica la recopilación de datos personales sensibles relacionados con la salud, lo que plantea desafíos importantes

en términos de privacidad, confidencialidad y consentimiento. Es fundamental contar con el consentimiento informado explícito del deportista cuando los datos son compartidos con terceros, como entrenadores, personal médico o empresas tecnológicas.

Asimismo, debe respetarse el derecho del usuario a decidir no compartir esta información, especialmente si existe el riesgo de que los datos se utilicen como criterio para la selección o exclusión en el ámbito deportivo. Otro aspecto relevante es la gestión de la propiedad de los datos generados por el sensor, definiendo claramente quién tiene acceso y con qué fines pueden ser utilizados.

En este sentido, deben aplicarse normativas de protección de datos, como el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) en Europa o las legislaciones locales vigentes en cada país. Más allá del marco legal, es esencial evitar una dependencia excesiva del dispositivo o una interpretación rígida de los números: los datos deben ser una herramienta para mejorar la toma de decisiones, no una imposición algorítmica que limite la autonomía del deportista.

Manejo de datos sensibles

El equipo técnico debe establecer protocolos claros para el tratamiento de la información generada por los CGM, especificando quién tiene acceso a los datos, cómo se almacenan y protegen, durante cuánto tiempo se conservan, y de qué manera se comunican al deportista. Además, es fundamental que se brinde formación adecuada para que el atleta pueda interpretar correctamente esta información. La transparencia y la ética deben ser los pilares en el uso de estas tecnologías, garantizando que la autonomía del deportista y su salud a largo plazo prevalezcan por sobre cualquier objetivo de rendimiento inmediato.

Consentimiento y confidencialidad

En equipos multidisciplinarios, especialmente en clubes profesionales o selecciones nacionales, es habitual que los datos del CGM sean compartidos entre entrenadores, médicos, nutricionistas y analistas. En estos casos, debe existir un protocolo de confidencialidad firmado por todos los implicados, junto con una política clara de uso de los datos, un sistema de trazabilidad que registre quién accede y modifica la información, y un canal de comunicación abierto con el deportista para resolver dudas y ofrecer retroalimentación constructiva. Solo de este modo se puede garantizar un uso responsable, útil y seguro de esta potente herramienta de monitorización metabólica.

Ejemplo práctico: uso de CGM durante el ejercicio

En este ejemplo se presentan dos pruebas de ejercicio físico realizadas a diferentes intensidades, con el objetivo de evaluar y comparar la respuesta glucémica durante la actividad. Para la monitorización continua de los niveles de glucosa se utilizó un

dispositivo wearable de medición continua de glucosa intersticial (CGM), que permite registrar minuto a minuto las fluctuaciones glucémicas en tiempo real.

A diferencia de los métodos tradicionales de medición de glucosa sanguínea, que requieren punciones capilares y proporcionan datos puntuales, el uso del CGM permite una evaluación continua y no invasiva. Esto facilita la identificación de patrones y respuestas metabólicas tanto durante el esfuerzo como en la fase de recuperación.

Las pruebas se diseñaron para representar dos tipos de esfuerzo: uno de larga duración y baja intensidad (como una maratón) y otro de corta-media duración y alta intensidad (como un entrenamiento HIIT). El objetivo fue observar cómo varía la concentración de glucosa intersticial según el tipo de estímulo físico. Esta comparación resulta clave para comprender la dinámica glucémica durante el ejercicio, con implicaciones relevantes tanto para atletas de alto rendimiento como para personas que necesitan un control riguroso de su glucemia.

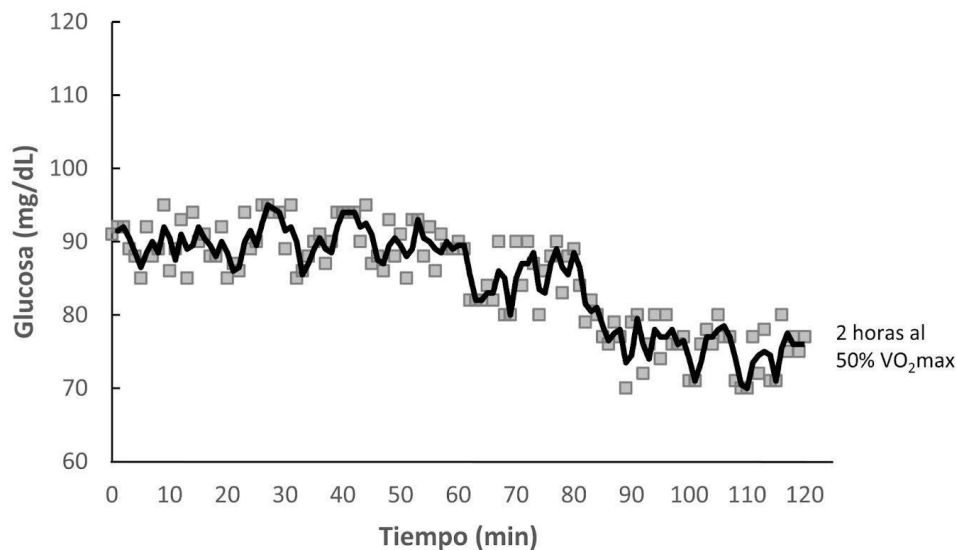
- **Prueba 1: larga duración + baja intensidad**

La primera prueba consistió en una sesión de ejercicio aeróbico a baja intensidad, en la que el sujeto realizó una carrera continua durante un período de dos horas. La intensidad fue fijada en el 50 % del $VO_2\text{max}$, correspondiente a un esfuerzo ligero. Esta carga se seleccionó para analizar el comportamiento de la glucosa intersticial durante un ejercicio prolongado pero moderado, permitiendo observar la regulación energética en condiciones de demanda estable.

Durante la sesión, los participantes mantuvieron un ritmo constante, asegurando que la intensidad se mantuviera dentro del rango previsto. El objetivo fue evaluar cómo responde el organismo a un estímulo aeróbico sostenido, sin fluctuaciones importantes de intensidad.

El gráfico a continuación muestra la concentración de glucosa intersticial (en mg/dL) registrada a lo largo de los 120 minutos de ejercicio a una intensidad del 50 % del $VO_2\text{max}$.

Figura 1. Ejemplo representativo de glucosa intersticial durante una prueba de ejercicio de dos horas a una intensidad constante del 50% del VO₂max



Fuente: elaboración propia

Al inicio de la prueba, los niveles de glucosa intersticial se mantuvieron relativamente estables, rondando los 90 mg/dL. Durante los primeros 50 a 60 minutos, se observaron solo pequeñas fluctuaciones fisiológicas, con una oscilación mínima alrededor de ese valor, lo cual indica una regulación eficiente del metabolismo energético a una intensidad moderada.

Sin embargo, a partir del minuto 80-90 comenzó una tendencia descendente sostenida en la concentración de glucosa, que continuó hasta el final del ejercicio. Hacia el minuto 120, los niveles descendieron a aproximadamente 75-80 mg/dL, evidenciando una reducción ligera pero continua durante la segunda mitad de la sesión. Esta disminución progresiva probablemente responde al incremento en la captación y utilización de glucosa por parte del músculo activo, ya que durante el ejercicio prolongado el organismo recurre de forma creciente a la glucosa, junto con otros sustratos como los ácidos grasos, para satisfacer las demandas energéticas.

En términos generales, este perfil refleja una respuesta metabólica adecuada frente al estímulo aeróbico prolongado. La glucosa se mantiene dentro de rangos seguros durante la mayor parte del esfuerzo y desciende gradualmente al final, sin alcanzar niveles críticos que puedan comprometer el rendimiento o la seguridad del atleta.

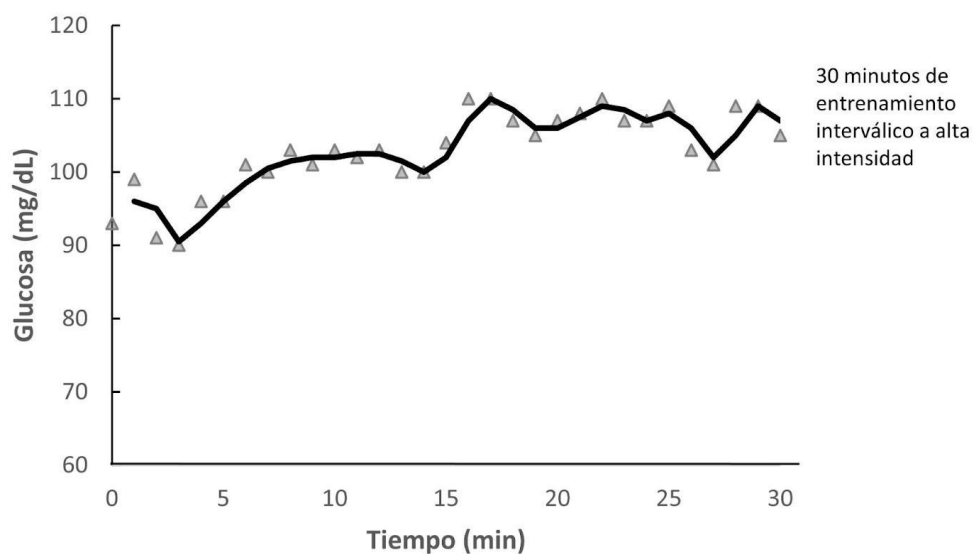
- **Prueba 2: media duración + alta intensidad**

La segunda prueba corresponde a una sesión de ejercicio interválico de alta intensidad, diseñada para evaluar la respuesta de la glucosa intersticial ante un estímulo físico exigente. Durante esta prueba, el sujeto realizó una actividad de carrera durante 30 minutos, alternando bloques de 2 minutos de esfuerzo intenso con 2 minutos de recuperación activa. La intensidad de los intervalos de trabajo se fijó en el 90% del $VO_2\text{max}$, lo que representa una carga vigorosa que desafía significativamente el metabolismo energético.

El propósito de esta configuración fue analizar cómo se comporta la concentración de glucosa intersticial ante cambios agudos y repetitivos de intensidad, característicos del entrenamiento interválico. Este tipo de esfuerzo se asocia con una alta demanda de glucosa como sustrato energético, así como con fluctuaciones rápidas en la activación simpática, hormonal y en la captación muscular de glucosa.

El gráfico correspondiente muestra la evolución de la concentración de glucosa intersticial (expresada en mg/dL) a lo largo de toda la sesión de 30 minutos, evidenciando cómo responden los niveles glucémicos a cada ciclo de esfuerzo-recuperación.

Figura 2. Ejemplo representativo de glucosa intersticial durante una prueba de ejercicio de 30 minutos a intensidades variables



Fuente: elaboración propia

Al inicio del ejercicio, los niveles de glucosa intersticial se sitúan en torno a los 95 mg/dL. Durante los primeros minutos se observa una leve disminución, alcanzando valores próximos a los 90 mg/dL, lo que puede atribuirse al aumento en la captación de glucosa por parte del músculo activo al comenzar la actividad.

Sin embargo, a medida que avanza la sesión, la concentración de glucosa experimenta un incremento progresivo y se estabiliza entre 100 y 105 mg/dL hasta aproximadamente el minuto 15. A partir de ese punto, se observa un ascenso más marcado, alcanzando un pico cercano a los 110 mg/dL entre los minutos 15 y 20. En el tramo final de la sesión, la glucemia se mantiene dentro de ese rango, con oscilaciones leves entre 105 y 110 mg/dL.

Este patrón refleja una respuesta adaptativa ante el ejercicio de alta intensidad, caracterizada por una fase inicial de captación periférica de glucosa seguida por una activación de mecanismos compensatorios como la glucogenólisis y la gluconeogénesis hepática. Estas respuestas están mediadas por la liberación de hormonas contrarreguladoras como la adrenalina, el glucagón y el cortisol, que promueven la liberación de glucosa al torrente sanguíneo para sostener la elevada demanda energética de los intervalos intensos.

En resumen, el ejercicio de alta intensidad provoca una respuesta glucémica caracterizada por un aumento compensatorio de la glucosa, lo que permite mantener la disponibilidad energética. En cambio, el ejercicio moderado y prolongado genera una disminución gradual de los niveles glucémicos, debido al predominio de la captación muscular como fuente de energía. Esta comparación evidencia diferencias clave en la regulación metabólica según la intensidad y la duración del esfuerzo.

El monitoreo continuo de glucosa (CGM) posibilita detectar estas tendencias con alta resolución temporal, lo cual resulta fundamental para comprender la dinámica glucémica durante el ejercicio. Esto habilita la elaboración de estrategias de alimentación más precisas o ajustes terapéuticos, especialmente en poblaciones susceptibles como las personas con diabetes.

Reflexión final del bloque

La incorporación del monitoreo continuo de glucosa (CGM) al ámbito deportivo representa una transformación significativa en la forma de concebir, planificar y ejecutar tanto el entrenamiento como la competición. Al integrar datos metabólicos en tiempo real con otras variables fisiológicas tradicionales, se abre la posibilidad de personalizar con mayor precisión la carga de trabajo, la estrategia nutricional y los procesos de recuperación. Esta tecnología no solo optimiza el rendimiento, sino que también incrementa la seguridad del deportista y favorece un mayor autoconocimiento fisiológico, pilares fundamentales para una preparación inteligente, individualizada y sostenible.

Referencias bibliográficas de consulta

- Bahrman, A., Schmid, C., Heinemann, L., Edwards, A., y Slingerland, R.** (2020). *No calibration and full connectivity: The evolution of CGM systems. Diabetes Research and Clinical Practice*, 170, 108522. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2020.108522>
- Burke, L. M., Coyle, E. F., y Jeukendrup, A. E.** (2019). *Carbohydrates for training and competition. Journal of Sports Sciences*, 37(7), 675–678. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21660838/>
- Flockhart, M., & Larsen, F. J.** (2023). Continuous glucose monitoring in endurance athletes: Interpretation and relevance of measurements for improving performance and health. *Sports Medicine*, 54(2), 247–255. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01910-4>
- Fokkert, M. J., van Dijk, P. R., Edens, M. A., Abbes, S., de Jong, D., Slingerland, R. J., & Bilo, H. J. G.** (2017). Performance of the FreeStyle Libre Flash glucose monitoring system in patients with type 1 and 2 diabetes mellitus. *BMJ Open Diabetes Research & Care*, 5(1), e000320. <https://doi.org/10.1136/bmidrc-2016-000320>
- Heaney, S.** (2022). *Integrating CGM in elite endurance sport: Perspectives from athletes and support teams. Sports Medicine – Open*, 8(1), 77.
- Herbst, A., et al.** (2021). *The future of diabetes technology: Smart CGM systems. Diabetes Technology & Therapeutics*, 23(Suppl 1), S-65–S-73.
- Jeukendrup, A. E.** (2017). *Training the gut for athletes. Sports Medicine*, 47(1), 101–110. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0690-6>
- Moser, O., et al.** (2020). *Glucose management for exercise using continuous glucose monitoring: Current status and future directions. Sports Medicine*, 50(4), 683–695.
- Moser, O., Mader, J. K., Tschakert, G., Mueller, A., Groeschl, W., Pieber, T. R., Koehler, G., Messerschmidt, J., & Hofmann, P.** (2016). *Accuracy of continuous glucose monitoring (CGM) during continuous and high-intensity interval exercise in patients with type 1 diabetes mellitus. Nutrients*, 8(8), 489. <https://doi.org/10.3390/nu8080489>
- Moser, O., Riddell, M. C., Eckstein, M. L., Adolfsson, P., Rabasa-Lhoret, R., van den Boom, L., Gillard, P., Nørgaard, K., Oliver, N. S., Zaharieva, D. P., Battelino, T., de Beaufort, C., Bergenstal, R. M., Buckingham, B., Cengiz, E., Deeb, A., Heise, T., Heller, S., Kowalski, A. J., Leelarathna, L., Mathieu, C., Stettler, C., Tauschmann, M., Thabit, H., Wilmot, E. G., Sourij, H., Smart, C. E., Jacobs, P. G., Bracken, R. M., & Mader, J. K.** (2020). *Glucose management for exercise using continuous glucose monitoring*



(CGM) and intermittently scanned CGM (isCGM) systems in type 1 diabetes: Position statement of the European Association for the Study of Diabetes (EASD) and of the International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes (ISPAD) endorsed by JDRF and supported by the American Diabetes Association (ADA). *Diabetologia*, 63(12), 2501–2520. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05263-9>

Moser, O., Mader, J. K., Tschakert, G., Mueller, A., Groeschl, W., Pieber, T., Koehler, G., Messerschmidt, J., & Hofmann, P. (2016). Accuracy of continuous glucose monitoring (CGM) during continuous and high-intensity interval exercise in patients with type 1 diabetes mellitus. *Nutrients*, 8(8), 489. <https://doi.org/10.3390/nu8080489>

Norris, D. R. (2021). Monitoring glucose variability in non-diabetic endurance athletes using CGM. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3714.

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

Rodriguez-Giustiniani, P., y Gualano, B. (2018). Monitoring internal load in athletes: The role of metabolic biomarkers. *Sports*, 6(3), 65.

Zaharieva, D. P., y Riddell, M. C. (2017). The emerging use of continuous glucose monitoring in exercise. *Current Diabetes Reports*, 17, 107.

Zaharieva, D. P., et al. (2021). Improving glycemic responses in athletes through real-time CGM: Practical recommendations. *Sports Health*, 13(4), 379–388.

Ziegler, R. (2020). Use of CGM in team sports: Performance and safety benefits. *Diabetes & Metabolism Journal*, 44(6), 840–848.

