
Impacto de la Monitorización Continua de Glucosa en el Rendimiento de Deportistas

Modalidad propuesta: **REVISIÓN**

*Propuesta de Trabajo Final de Máster
Máster de Alimentación en la Actividad Física y el
Deporte*

Autor/a: Noelia Redondo Martín
Tutor/a del TFM: Álvaro López Samanes

17/06/2024



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>)



Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilm, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

Índice

Resumen	4
Abstract	5
1. Introducción	6
2. Objetivos	9
3. Metodología	10
4. Resultados	12
4.1. Selección de estudios para la revisión	12
5. Discusión	23
6. Aplicabilidad y Nuevas Líneas de Investigación	30
7. Conclusiones	33
8. Bibliografía	34

Resumen

La monitorización continua de glucosa (CGM) emerge como una herramienta interesante a implementar en la gestión del rendimiento deportivo al proporcionar datos en tiempo real sobre los niveles de glucosa en líquido intersticial. El trabajo se ha centrado en realizar una revisión de los estudios experimentales existentes que analizan la precisión de los dispositivos de CGM, los beneficios que puede ofrecer su implementación y el impacto de diferentes factores en la variabilidad glucémica respecto al rendimiento deportivo. La estrategia de búsqueda abarcó las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science, seleccionando un total de 14 estudios con un total de 12.733 sujetos, de los cuales 2.944 eran mujeres y 9.789 hombres. Los estudios la precisión de los dispositivos CGM en condiciones de reposo y ayuno en comparación con la punción capilar. Se analizaron los estudios que demuestran cómo la CGM puede facilitar la personalización de las estrategias nutricionales y de entrenamiento, optimizando el rendimiento y la recuperación al permitir prevenir episodios que podrían afectar negativamente al rendimiento deportivo (e.g. hipoglucemias). Además, se identificaron múltiples factores que afectan la variabilidad glucémica, entre ellos: la intensidad del ejercicio, el estrés, calidad del sueño, el género e índice de masa corporal. Por tanto, la CGM se presenta como una herramienta prometedora a considerar en la mejora del rendimiento y salud de los atletas. Es preciso realizar futuras investigaciones para comprender mejor su funcionamiento y optimizar su aplicación en el ámbito deportivo.

Palabras clave:

Monitorización continua de glucosa, rendimiento deportivo, variabilidad glucémica, precisión, individualización.

Abstract

Continuous glucose monitoring (CGM) is emerging as an interesting tool to implement in sports performance management by providing real-time data on glucose levels in interstitial fluid. This work has focused on reviewing existing experimental studies that analyze the accuracy of CGM devices, the benefits their implementation can offer, and the impact of various factors on glycemic variability concerning sports performance. The search strategy encompassed the PubMed, Scopus, and Web of Science databases, selecting a total of 14 studies with a total of 12,733 subjects, of whom 2,944 were women and 9,789 were men. The studies evaluated the accuracy of CGM devices under resting and fasting conditions compared to capillary blood sampling. The studies that demonstrate how CGM can facilitate the personalization of nutritional and training strategies were analyzed, optimizing performance and recovery by allowing the prevention of episodes that could negatively affect sports performance (e.g., hypoglycemia). Additionally, multiple factors affecting glycemic variability were identified, including exercise intensity, stress, sleep quality, gender, and body mass index. Therefore, CGM presents itself as a promising tool to consider for improving athletes' performance and health. Further research is needed to better understand its functioning and optimize its application in the sports field.

Keywords:

Continuous Glucose Monitoring, sports performance, glycemic variability, accuracy, personalization.

1. Introducción

1.1. Glucosa como fuente de energía:

La glucosa es un monosacárido esencial para el funcionamiento adecuado del organismo, siendo considerada la principal fuente de energía de diversos tejidos y sistemas, como el cerebro, músculo esquelético y sistema nervioso [1]. Este monosacárido simple, se obtiene principalmente a partir de la digestión de carbohidratos y se almacena en forma de glucógeno con el fin de garantizar unos niveles glucémicos estables. Concretamente, el hígado es capaz de almacenar aproximadamente 100 gramos de glucógeno, mientras que el tejido muscular almacena alrededor de 400 gramos [2] y la cantidad de glucosa que se puede encontrar en sangre, es de aproximadamente ≈ 5 g [1,3].

Durante la práctica deportiva, los niveles de glucosa en sangre pueden disminuir, y el cuerpo recurre a las reservas de glucógeno almacenadas con el fin de mantener niveles glucémicos estables [3]. Esta glucosa almacenada en forma de glucógeno es liberada al torrente sanguíneo mediante el proceso de glucogenólisis. Sin embargo, es importante destacar que estas reservas de glucógeno no son infinitas y pueden agotarse en la realización de ejercicios de alta intensidad o prolongados, pudiendo llegar a desarrollar situaciones de hipoglucemia (i.e., plasmáticas de glucosa < 70 mg/dL) [1,4]. Esta condición puede manifestarse con síntomas como mareos, náuseas, fatiga y dificultad para concentrarse, lo que puede afectar negativamente en el rendimiento deportivo [1,4]. En este contexto, planificar la ingestión de carbohidratos antes, durante y después de la práctica deportiva se vuelve crucial para mantener los niveles de glucosa.

La concentración de glucosa en sangre se regula mediante una liberación y captación equilibrada por órganos y tejidos, estimulada principalmente por las hormonas insulina y glucagón (i.e, hormonas producidas a nivel pancreático) [3]. Además, durante el ejercicio, la captación de glucosa puede incrementarse debido a la activación de vías responsables de su utilización, el aumento del flujo sanguíneo y la mejora en el transporte de glucosa a través de la membrana del músculo activo [4].

1.2. Monitorización Continua de Glucosa (CGM):

Desde hace algunos años, la clasificación de los alimentos se basa principalmente en su índice glucémico (i.e, rapidez con la que un alimento puede elevar la glucosa en sangre) [5]. Sin embargo, estudios recientes han evidenciado una considerable variabilidad interindividual en las respuestas glucémicas posprandiales (i.e, respuesta

de glucosa en sangre después de comer) ante un mismo alimento [5,6]. Esta variabilidad hace indiscutible la importancia de adoptar enfoques nutricionales personalizados, tanto en personas con condiciones metabólicas como la diabetes, como para aquellos individuos sin patologías. Gracias a estos estudios centrados en la variabilidad interindividual, el uso de nuevas tecnologías como la CGM está en aumento, ganando popularidad entre atletas de diversas modalidades [3].

A diferencia de los métodos convencionales que requieren de punciones capilares recurrentes para medir la glucosa, la CGM utiliza un biosensor colocado en la parte posterior del brazo (i.e., zona del tríceps). Este dispositivo monitorea automáticamente los niveles de glucosa en el líquido intersticial (ISF) [1,7] durante un periodo de 14 días, durante 24 horas al día [7]. Cuando se detectan variaciones en los niveles de glucosa en sangre, el sensor envía la información a un dispositivo receptor (monitor externo o teléfono móvil), ofreciendo así una perspectiva en tiempo real de la variación glucémica [1]. Además, son varias las aplicaciones que permiten integrar las lecturas de estos sensores junto a otros factores que afectan al rendimiento deportivo. Donde se incluyen la calidad de sueño, actividad física, ingestas realizadas, eventos de estrés y el pulso, entre otros. Facilitando la evaluación de toda esta información de manera sencilla y rápida, pudiendo ofrecer una herramienta valiosa para atletas, nutricionistas deportivos y preparadores físicos [1,6].

Durante años, la precisión de estos dispositivos ha sido cuestionada debido a las diferencias en los valores obtenidos al realizar una punción en el dedo, que mide directamente los niveles de glucosa en sangre, en comparación con la monitorización continua de glucosa, que detecta los niveles en el líquido intersticial. Además, se ha planteado la pregunta sobre si su uso en personas no diabéticas es realmente relevante, lo que ha llevado a que sean varias las investigaciones centradas en evaluar su precisión y compararla con métodos tradicionales [7-11]. Desde la introducción del primer sensor de CGM en el mercado, los avances en esta tecnología han permitido mejorar considerablemente la precisión de los datos recopilados [12]. No obstante, es importante reconocer que, aunque la CGM puede ser una herramienta valiosa, pueden surgir discrepancias entre los niveles de glucosa en sangre obtenidos a través de un glucómetro y las medidas intersticiales recogidas por el sensor. Estas diferencias suelen ser más evidentes durante las fluctuaciones rápidas de glucosa, como después de las comidas o durante el ejercicio físico, momentos en donde las fluctuaciones de glucosa pueden ser rápidas y la sincronización entre las mediciones pueden no ser perfectas [15].

En términos generales, la precisión de los sensores de CGM es alta, aunque puede existir una pequeña variación temporal de aproximadamente 10 minutos entre las mediciones de glucosa convencionales y las proporcionadas por la CGM. A pesar de esta leve variación temporal, los monitores continuos de glucosa ofrecen una ventaja única al medir la glucosa intersticial cada 5-15 minutos, proporcionando un perfil glucémico dinámico y detallado que refleja cómo diferentes estímulos y condiciones afectan a cada atleta. Esto ocasiona, que la utilización de esta tecnología pueda ofrecer información esencial para entender y optimizar la respuesta individual ante diversas situaciones y ajustar estrategias nutricionales y de entrenamiento de manera más personalizada [5].

1.3. Metabolismo de la Glucosa y Atletas:

La regulación de la glucosa en sangre ha sido estudiada desde una perspectiva de salud durante años en personas diabéticas [10]. Sin embargo, el reconocimiento de cómo los niveles de glucosa impactan en el rendimiento físico ha despertado un interés significativo en el ámbito deportivo [10]. Esta relación entre salud y rendimiento deportivo se convierte en un punto crucial para entender la complejidad de las respuestas glucémicas en atletas.

La regulación de la glucosa en sangre es un proceso esencial que juega un papel crucial en el rendimiento, la recuperación y la salud general de los atletas. Estudios recientes han revelado la relación entre la actividad física intensa, la ingesta de carbohidratos y la regulación de la glucosa en esta población. Se ha observado que los atletas de resistencia, a pesar de tener una planificación rigurosa, pueden experimentar episodios frecuentes de hipoglucemia [1,3]. Estos episodios glucémicos adversos no solo afectan a el rendimiento deportivo debido a síntomas como náuseas y mareos, sino que también se ha visto que afectan a la cognición de los deportistas e incluso aumentan la probabilidad de sufrir una lesión [3,10]. Es esencial tener en cuenta que no solo la estrategia nutricional y de entrenamiento son aspectos importantes a la hora de hablar de rendimiento deportivo. También son importantes factores como el estrés y el descanso, entre otros. Además, se ha observado que estos, de forma bidireccional, influyen en las respuestas glucémicas [7].

A la vista de que es posible prevenir eventos de hipoglucemia con ajustes nutricionales, lo que permite retrasar la fatiga, potenciar el rendimiento y garantizar una correcta recuperación postejercicio [1], y considerando la variabilidad glucémica entre individuos, se subraya la necesidad de adoptar estrategias más individualizadas. En este contexto, la monitorización continua de glucosa (CGM) emerge como una herramienta esencial y

prometedora para entender las complejas interacciones entre ejercicio, nutrición y regulación de la glucosa en sangre en atletas [3].

En última instancia, la inclusión de la CGM entre las herramientas de los nutricionistas deportivos podría ser clave para optimizar las estrategias nutricionales, mejorar el rendimiento y prevenir la hipoglucemia en atletas [3]. Este enfoque integrador, no solo podría beneficiar la salud de los usuarios a largo plazo, sino también puede ser la forma de marcar la diferencia en la preparación, ejecución y recuperación de los atletas, potenciando su desempeño y bienestar general [10]. Por tanto, esta revisión busca profundizar en la comprensión de los patrones glucémicos en atletas, abordando las variaciones individuales y los efectos del entrenamiento, la nutrición y otros parámetros que afectan tanto al rendimiento deportivo, como a los valores glucémicos de una forma bidireccional (estrés, calidad de sueño...). Al evaluar críticamente los estudios existentes y analizar las limitaciones y desafíos en la interpretación de CGM, se pretende proporcionar una perspectiva integral que informe y oriente tanto a investigaciones futuras como a las prácticas actuales y manejo de la glucosa en esta población.

2. Objetivos

- Determinar la eficacia de los CGM para el control de la glucosa de los deportistas.
- Evaluar los beneficios de la CGM en deportistas.
- Analizar el impacto de diferentes factores en el metabolismo glucémico.

2.1. Preguntas investigables:

- ¿Cuáles son los principales beneficios del uso de sistemas CGM en atletas?
- ¿Qué evidencia científica existe actualmente que respalde el uso de CGM en el ámbito deportivo?
- ¿Cuáles son los desafíos y limitaciones asociados con la implementación de sistemas CGM?

3. Metodología

Búsqueda en bases de datos académicas como PubMed, Scopus y Web of Science. Utilizando operadores booleanos ``OR`` y ``AND`` con términos clave como "Continuous Glucose Monitoring", "CGM", "athletes", "sports performance" y "blood glucose".

La búsqueda se limita a estudios publicados en los últimos 10 años (2014-2024) para asegurar la inclusión de investigaciones recientes que reflejando los avances más actualizados. Se aplicaron filtros para seleccionar los estudios más relevantes, entre los que podemos destacar los **criterios de exclusión**; a) artículos en idiomas diferentes a inglés/castellano, b) libros, revisiones sistemáticas y meta-análisis, c) participantes con patologías metabólicas o situaciones especiales (e.q. embarazadas), mientras que como **criterios de inclusión** se propusieron: a) ensayos clínicos aleatorizados, b) artículos en inglés/castellano, c) estudios realizados en humanos físicamente activos, d) artículos publicados en la ventana temporal de los últimos 10 años. En la Tabla 1 se detallan los criterios de inclusión y exclusión aplicados.

Tabla 1: Criterios de inclusión y exclusión establecidos en la selección de estudios:

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none">Estudios publicados en los últimos 10 años.Ensayos clínicos aleatorizados.Sujetos sin patologías diagnosticadas.Estudios realizados en humanos.Físicamente activos, deportistas y atletas.	<ul style="list-style-type: none">Artículos en idiomas diferentes a inglés y castellano.Libros.Revisiones sistemáticas y metaanálisis.Sujetos con patologías metabólicas o situación que interfiere con la glucemia (embarazo, menopausia, niños, etc).

Tras la introducción de las diferentes combinaciones de términos clave en las bases de datos mencionadas y la aplicación de filtros predefinidos, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los títulos y resúmenes de los estudios encontrados. Aquellos que no cumplieran con la temática o los criterios de inclusión especificados fueron excluidos del análisis. Los algoritmos utilizados para la búsqueda y selección de estudios en cada una de las bases de datos se observan en la Tabla 2.

Tabla 2: Algoritmo de búsqueda en las diferentes bases de datos, resultados obtenidos, resultados tras filtrado y seleccionados después de leer título y resumen. Sin analizar duplicados.

	Algoritmo de palabras clave	Resultados sin filtrado	Resultados tras filtrado	Artículos seleccionados	Fecha consulta
Pubmed					
1	(Continuous Glucose Monitoring) OR (CGM) AND (athletes)	238	50	1	4/05/2024
2	(Continuous Glucose Monitoring) OR (glucose monitors) AND (sport performance)	224	31	1	4/05/2024
3	(Continuous Glucose Monitoring) AND (sports)	235	120	8	9/05/2024
4	(Continuous Glucose Monitoring) OR (CGM) AND (athletes)	105	52	8	9/05/2024
5	(Continuous Glucose Monitoring) AND (athletes) AND (Blood Glucose)	88	41	5	9/05/2024
Scopus					
3	(Glucose monitors) OR (Continuous Glucose Monitoring) OR (CGM) AND (sports performance) AND (athletes)	773	379	16	4/05/2024
Web of Science					
4	(Continuous Glucose Monitoring) AND (athletes)	52	35	10	9/05/2024

Los estudios seleccionados fueron sometidos a una segunda revisión con el fin de eliminar posibles estudios duplicados y garantizar la integridad de los datos analizados. Además, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- **Evaluación de la calidad metodológica:** Se realizó una evaluación de la calidad metodológica de cada estudio seleccionado para garantizar la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos. Este proceso se basó en la Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [13] y la Declaración STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) [14], dos enfoques reconocidos internacionalmente para evaluar la calidad de los informes de estudios sistemáticos y observacionales, respectivamente. La Declaración PRISMA asegura la transparencia y la exhaustividad en la presentación de los datos, mientras que la Declaración STROBE proporciona una lista de verificación para evaluar la calidad de los estudios seleccionados.
- **Extracción de datos:** Se extrajeron datos relevantes de cada estudio, incluyendo información sobre los participantes, métodos utilizados, resultados obtenidos y conclusiones principales.
- **Análisis de la consistencia de los resultados:** Se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los diferentes estudios para identificar posibles patrones, discrepancias o tendencias consistentes.

Los datos recolectados han sido evaluados, clasificados y anotados en el presente trabajo para proporcionar así una visión general del impacto de la monitorización continua de glucosa en deportistas, extrayendo de ellos conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones en este ámbito.

4. Resultados

4.1. Selección de estudios para la revisión

En la presente sección se resumen los hallazgos obtenidos a partir del análisis de una serie de estudios relacionados con la monitorización continua de glucosa en deportistas. Se recopiló información de un total de 14 estudios, evaluando un total de 12.733 usuarios, de los cuales 2.944 eran mujeres y 9.789 eran hombres.

En todos los estudios revisados se llevó a cabo un seguimiento detallado de los niveles de glucosa utilizando sistemas de monitorización continua, permitiendo así una evaluación precisa del impacto de estos dispositivos en los deportistas y su rendimiento atlético, así como su precisión. La Tabla 3 recopila la información de los estudios seleccionados de una manera más detallada.

El proceso de selección de estos estudios se describe de manera resumida en el siguiente diagrama de acuerdo con la metodología descrita previamente:

Figura 1. Diagrama de selección de artículos

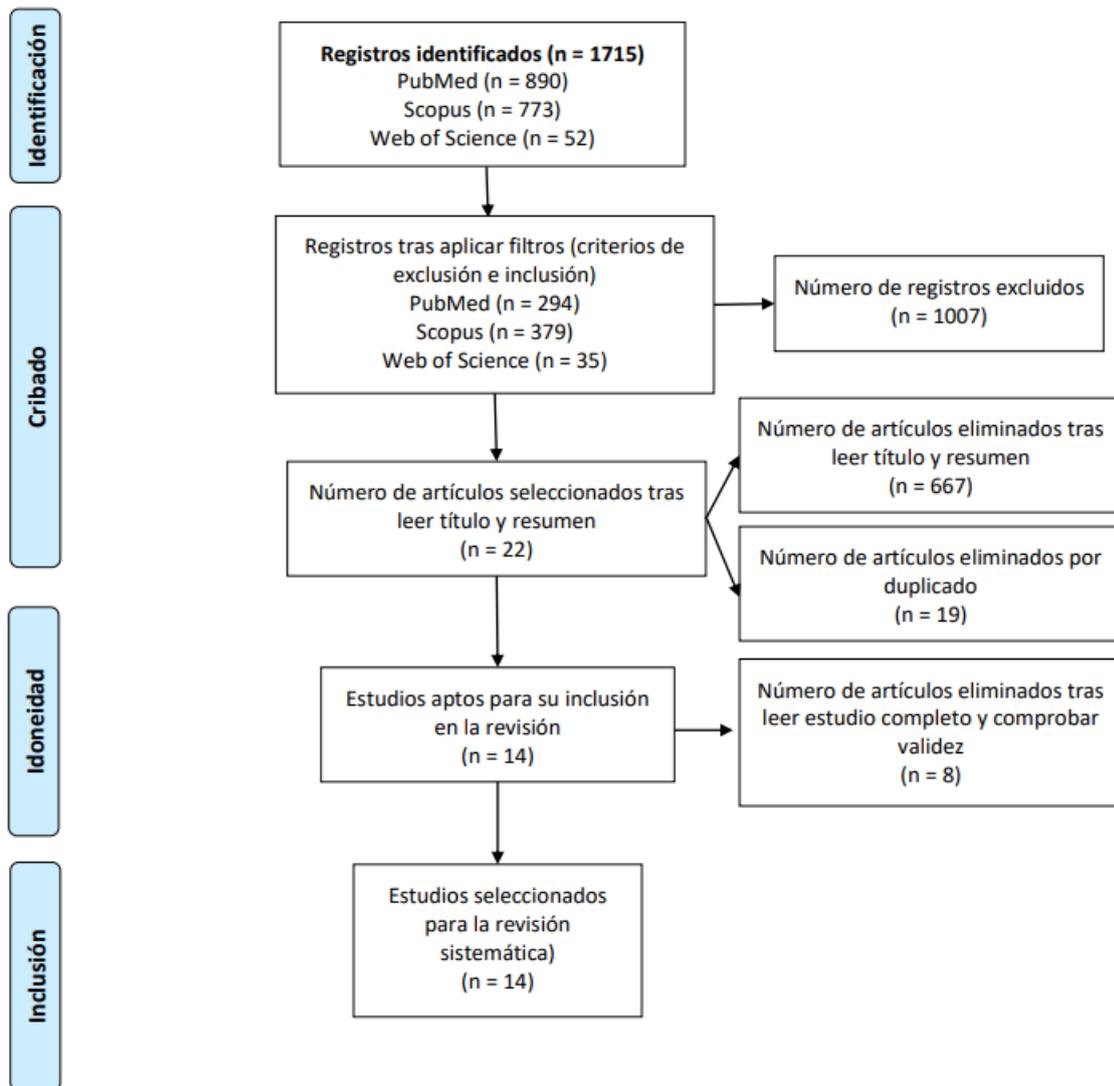


Tabla 3. Descripción general de los estudios incluidos en el análisis cualitativo

	Tipo de muestra	Sexo	Objetivo	Metodología	Resultados
Bauhaus et al. (15)	Deportistas sanos sin patologías (n=10) (26 ± 4 años)	Mujeres: (n=4) Hombres (n=6)	Comparar las concentraciones de glucosa en sangre capilar (CB) y líquido intersticial (ISF) durante diferentes niveles de actividad física en un estado posprandial en deportistas sanos sin diabetes.	Durante un período de 14 días, los participantes fueron sometidos a seis pruebas que comprendieron: (a) dos pruebas en estado de reposo y en ayunas (HC_Rest/Fast y LC_Rest/Fast), (b) dos pruebas en reposo con una ingestión de 1 g de glucosa por kilogramo de peso corporal (HC_Rest/Glc y LC_Rest/Glc), (c) una sesión de carrera de 60 minutos a intensidad moderada (ModExerc/Glc) y (d) una sesión de alta intensidad de ejercicio después de la ingesta de 1 g de glucosa por kilogramo de peso corporal (IntExerc/Glc). Las concentraciones de glucosa intersticial obtenidas mediante los monitores de glucosa continua fueron comparadas con aquellas determinadas a partir de muestras de sangre capilar recolectadas y sometidas a mediciones de glucosa en laboratorio.	Hubo una correlación alta entre las concentraciones de glucosa en CB e ISF en reposo y ayuno ($r = 0.92$, $p < 0.001$).
Yoshitake et al. (16)	Atletas especializados en decatón (n =10) (20,2 ± 1,1 años)	Hombres (n=6)	Investigar las fluctuaciones en los niveles de glucosa en sangre durante un decatón masculino y su relación con la ingesta y el ejercicio.	Se realizó un estudio durante cuatro días que incluyó la monitorización continua de glucosa, el seguimiento de la actividad física y registro de alimentos. Durante dos días consecutivos se llevó a cabo la competición de decatón, mientras que los otros dos días se utilizaron como días de preparación antes y de recuperación después de la competición. Se registraron las fluctuaciones de glucosa en sangre y su relación con la ingesta y el ejercicio, así como la duración y tipo de actividad realizada.	Se observó una correlación positiva significativa entre el nivel medio de glucosa intersticial y el número de ingestas ($r = 0.713$, $p < 0.05$).

<p>Inamura et al. (17)</p>	<p>Atletas de ultra maratón (n=22) (30-55 años)</p>	<p>Mujeres (n=4) Hombres (n=18)</p>	<p>Evaluar la asociación de los resultados de una carrera con la ingesta de carbohidratos y el control de la glucosa en sangre durante una ultra maratón de 100 millas.</p>	<p>El estudio observacional incluyó la monitorización continua de glucosa en sangre y la ingesta dietética durante la carrera. Los participantes fueron divididos según los resultados de la competición en términos de rendimiento. Se registraron la ingesta de carbohidratos y los niveles de glucosa cada 15 minutos.</p>	<p>Los participantes mejor clasificados consumieron significativamente más carbohidratos durante la carrera, especialmente en la primera mitad ($p < 0.05$). Hubo una correlación positiva entre la velocidad de carrera y la ingesta de carbohidratos en los finalistas inferiores ($r = 0.700$, $p = 0.036$). Además, los atletas peor clasificados mostraron una reducción más frecuente en los niveles de glucosa ($p = 0.012$) y fluctuaciones más altas ($p < 0.001$). Las fluctuaciones en los niveles de glucosa se correlacionaron significativa y negativamente con la velocidad de carrera de los finalistas ($r = -0.612$, $p = 0.012$). Los corredores más rápidos consumen grandes cantidades de carbohidratos y mantienen los niveles de glucosa durante el ultra maratón de 100 millas en la pista, especialmente al principio. La disminución y la fluctuación de los niveles de glucosa durante la carrera se asocian con una menor velocidad de carrera en los atletas de resistencia.</p>
<p>Kulawiec et al. (18)</p>	<p>Atletas de subélite (n=10) (23-50 años)</p>	<p>Mujeres (n=3) Hombres (n=7)</p>	<p>Investigar el impacto metabólico de un evento importante de ejercicio de resistencia y la recuperación posterior mediante la monitorización continua de glucosa.</p>	<p>Diez atletas de subélite fueron equipados con monitores continuos de glucosa (CGM) y monitorizados durante un período de 4 a 6 días, durante los cuales se registraron los niveles de glucosa en sangre, así como los detalles sobre el ejercicio y la ingesta nutricional. Posteriormente, los atletas llevaron a cabo una prueba de ejercicio de resistencia hasta el agotamiento después de 1 a 2 días de seguimiento. Se analizó el patrón validado de estado y subestado para examinar el nivel glucémico cuantificado y la variabilidad antes y después de la prueba de ejercicio, incluidos los niveles de glucosa basal y las respuestas glucémicas a la ingesta de carbohidratos.</p>	<p>Se observó un aumento en la variabilidad glucémica y la respuesta glucémica a la ingesta de carbohidratos el día de la prueba, que volvió a la normalidad al día siguiente. Los niveles de glucosa durante la noche permanecieron elevados hasta 3 a 4 días después de la prueba, lo que indica un impacto metabólico duradero. Estos resultados sugieren el potencial de los dispositivos CGM para monitorear la recuperación atlética después de eventos de ejercicio intenso.</p>

Thomas et al. (19)	Atletas de subélite (n=10) (23-37 años)	Mujeres (n=3) Hombres (n=7)	Evaluar la precisión y el rendimiento de los dispositivos CGM en atletas activos durante una prueba de ejercicio de resistencia.	Diez atletas fueron equipados con dos dispositivos CGM Ipro2 y uno Guardian Real-time para llevar a cabo un estudio de rendimiento. Cada atleta se sometió a una prueba de ejercicio continuo en ayunas hasta el fallo, con dosis de glucosa administradas durante la prueba. Se realizaron mediciones de glucosa en sangre de referencia cada 10 minutos durante los primeros 60 minutos y cada 5 minutos hasta 30 minutos después del fallo, utilizando un glucómetro Abbott Optimum Xceed. Para evaluar la precisión de los CGM durante las diferentes fases de la prueba, se calculó la diferencia relativa absoluta media (MARD), y se aplicó una correlación cruzada de retraso cero para evaluar la concordancia entre los dispositivos CGM.	Antes de la dosis de glucosa, todos los sensores funcionaban bien, con una diferencia relativa absoluta media de 9.7 %, 9.6 % y 11.1 % para los dos Ipro2 y el Guardian Real-time, respectivamente. Durante el ejercicio, los dispositivos CGM mostraron una buena correlación entre sí, con coeficientes de correlación cruzada medianos entre 0.88 y 0.97 para diferentes pares de sensores. Sin embargo, se observó un mayor error después de la dosis de glucosa, probablemente debido al retraso en el transporte al líquido intersticial y al sensor. Estos resultados sugieren que los dispositivos CGM pueden ser útiles para monitorear la glucosa en atletas activos, aunque pueden haber discrepancias en los niveles de glucosa después de dosis de glucosa durante el ejercicio intenso.
Oishi et al. (20)	Corredor sin patologías (n=1) (36 años)	Hombres (n=1)	Observar la fluctuación de glucosa durante una maratón completa junto con el rendimiento de la carrera y la intensidad del ejercicio.	Se llevaron a cabo cinco monitorizaciones continuas de glucosa durante cinco carreras de maratón realizadas por un corredor sano. Durante estas carreras, se registraron tanto la frecuencia cardíaca como la velocidad de carrera.	Los resultados mostraron diferentes patrones de respuesta glucémica durante cada carrera. En la primera MCG, se observó un aumento en los niveles de glucosa después de la ingesta de carbohidratos, que se mantuvo elevado durante la carrera, aunque la velocidad de carrera disminuyó gradualmente. En la segunda carrera, los niveles de glucosa se mantuvieron estables en el rango normal, y se logró el mejor récord privado en ese momento. Sin embargo, en la tercera carrera, se detectó una hipoglucemia durante la segunda mitad de la carrera, lo que afectó el rendimiento y la consecución de un nuevo récord. En las siguientes carreras, se mantuvieron niveles estables de glucosa en sangre en el rango normal, pero el rendimiento se vio afectado en la última carrera, posiblemente debido al aumento de la temperatura. Mejor rendimiento asociado con patrón estable de glucosa.
Salomon et al. (21)	Sujetos sin patologías (n=48) (18-65 años)	Mujeres (n=23) Hombres (n=25)	Comparar los efectos de la actividad física sobre las respuestas de glucosa intersticial posprandial realizando la actividad antes, después o 30	Se llevaron a cabo tres intervenciones de actividad física: estar de pie, caminar y realizar ejercicios de peso corporal. Se registraron las respuestas de glucosa intersticial después de consumir un desayuno líquido. La actividad física se llevó a cabo antes, después o 30 minutos después del desayuno.	Caminar y ejercicios de peso corporal inmediatamente después del desayuno mejoraron la glucosa media, el coeficiente de variación y el área bajo la curva de glucosa. Estar de pie inmediatamente después del desayuno solo mejoró el área bajo la curva de glucosa. La glucosa media, el coeficiente de variación y el área

			minutos después del desayuno.		bajo la curva no se vieron afectados por la actividad antes o 30 minutos después del desayuno.
Skroce et al. (22)	Gran cohorte de hombres y mujeres físicamente activos, sin diagnóstico de enfermedad metabólica (n=12.504) (40 ± 11)	Mujeres (n=2872) Hombres (n=9632)	Perfilar métricas de MCG en torno a la ingesta nutricional, el sueño y el ejercicio en personas físicamente activas sin diagnóstico de enfermedad metabólica.	Utilización del biosensor de glucosa Abbott Libre Sense Sport para la monitorización continua de glucosa (MCG), junto con el registro de comidas, sueño y ejercicio a través de una aplicación de teléfono inteligente. Posterior análisis de los datos obtenidos mediante la MCG.	La mayoría de los participantes presentaron un perfil de glucosa promedio general entre 90 y 110 mg/dL, con niveles más altos asociados a comidas y ejercicio, y niveles más bajos asociados al sueño.
Shoji et al. (23)	20 sujetos sanos (27,9 ± 3,9 años), divididos equitativamente en dos grupos: Grupo de ejercicio de resistencia de baja intensidad con movimientos lentos y generación de fuerza tónica (LST).	Mujeres (n=10) Hombres (n=10)	Investigar el efecto del ejercicio de resistencia de baja intensidad con movimientos lentos y generación de fuerza tónica (LST) sobre la variabilidad glucémica a corto plazo en individuos sanos.	Veinte individuos sanos con tolerancia normal a la glucosa fueron reclutados para participar en el estudio, asignados aleatoriamente a dos grupos: control (n = 10) y LST (n = 10). Los participantes del grupo LST llevaron a cabo un ejercicio de resistencia, ejercitándose al 40-50% de su repetición máxima durante 40 minutos. Cada sujeto portaba un sistema de monitorización continua de glucosa subcutánea y un acelerómetro triaxial, y se registró tanto su variabilidad glucémica diaria como su actividad física.	Una hora después de la intervención, en el grupo LST, la variabilidad de los niveles de glucosa en sangre disminuyó significativamente en comparación con el grupo control (variación glucémica en el grupo LST: pre 3.5 ± 6.2, post 2.7 ± 2.7, p = 0.575; variación glucémica en el grupo control: pre 0.4 ± 0.7, post 2,7 ± 2,0, p = 0,017). Sin embargo, no hubo diferencias en la actividad física total y el control glucémico diario entre los grupos.
Ishihara et al. (24)	7 corredores sin lesiones, ni patologías. Todos los corredores habían completado de 2 a 3 carreras certificadas por la Asociación Internacional de Trail Running y la suma de puntos de los finalistas superó los 12 en los últimos 3 años, demostrando su experiencia en la ejecución de ultra maratones.	Mujeres (n=3) Hombres (n=4)	Evaluar la viabilidad de la aplicación de la monitorización continua de la glucosa para garantizar una ingesta óptima de carbohidratos con el fin de mantener los niveles de glucosa en sangre durante una carrera de ultra maratón de 160 km.	Se monitoreó continuamente el perfil de glucosa durante toda la carrera, la cual se dividió en 11 segmentos mediante puertas de cronometraje. La velocidad de carrera en cada segmento se estandarizó al promedio de los cinco primeros clasificados de cada género. Además, se registró la ingesta de alimentos y bebidas durante la carrera, y se calculó tanto la ingesta de carbohidratos como la de energía.	Los niveles de glucosa observados oscilaron entre 61.9 y 252 mg/dL. La concentración promedio de glucosa difirió desde el inicio hasta el final de la carrera (104 ± 15.0 a 164 ± 30.5 DE mg/dL). La cantidad total de ingesta de carbohidratos durante la carrera osciló entre 0.27 y 1.14 g/kg/h. La concentración de glucosa se correlacionó positivamente con la velocidad de carrera en los segmentos (p <0.005). La ingesta de energía y carbohidratos se correlacionó positivamente con la velocidad general de carrera (p <0.01). El estudio demuestra que la monitorización continua de la glucosa podría ser práctica para garantizar una ingesta óptima de carbohidratos para cada corredor de ultra maratón.

Coates et al. (25)	11 atletas de resistencia (18-50 años)	Mujeres (n=3) Hombres (n=8)	Investigar si la utilización de carbohidratos se altera durante el ejercicio en atletas de resistencia extralimitados y examinar la utilidad de los MCG para detectar el estado extralimitado.	Los atletas llevaron a cabo un bloque de entrenamiento de 5 semanas que incluía una semana de entrenamiento reducido (PRE), seguida de 3 semanas de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad (POST) y finalmente una semana de entrenamiento de recuperación (REC). Durante estos períodos, los participantes se sometieron a una prueba de ciclismo submáxima de Lamberts y Lambert (LSCT) y a una contrarreloj de 5 km en los puntos temporales PRE, POST y REC. Quince minutos después de la ingestión de una bebida de glucosa de 50 g, se registraron los niveles de glucosa cada minuto mediante MCG.	El rendimiento en la contrarreloj de 5 km se redujo en el POST ($p = 0,04$) y mejoró en REC ($p = 0.01$), con reducciones en el pico de lactato ($p = 0.001$), FC máxima ($p < 0,001$) y puntuaciones de bienestar de Hooper-Mackinnon (10 ± 5 au, $p < 0.001$), indicando que los atletas estaban funcionalmente extralimitados. La relación de intercambio respiratorio se suprimió en el POST en relación con el REC durante el 60% (POST: 0.80 ± 0.05 , REC: 0.87 ± 0.05 , $p < 0.001$) y 80% (POST: 0.93 ± 0.05 , REC: 1.00 ± 0.05 , $p = 0.003$) de etapas submáximas coincidentes con FC del LSCT. La glucosa del MCG se redujo durante el ejercicio submáximo con frecuencia cardíaca equivalente en el LSCT en el POST ($p = 0.047$), pero no en la contrarreloj de 5 km ($p = 0.07$) en atletas con exceso de alcance. El uso de MCG durante el ejercicio submáximo después de una nutrición estandarizada podría emplearse como una herramienta de seguimiento para detectar extralimitaciones en atletas de resistencia.
Suzuki et al. (26)	Atletas universitarios (n = 2) (21 años)	Mujeres (n=1). Hombres (n=1).	Evaluar la asociación entre los niveles de glucosa en sangre y la velocidad de carrera durante carreras prolongadas en atletas con diferentes estados de entrenamiento.	Los participantes corrieron en un recorrido de 247,4 metros de circunferencia durante 5 horas mientras llevaban un sistema de monitorización continua de glucosa. Se tomaron muestras de sangre en los momentos -1, 1, 3 y 5 horas. Durante toda la carrera, los atletas tuvieron libre acceso a alimentos y líquidos. Los atletas mantuvieron un ritmo de carrera constante, sin experimentar una disminución repentina del mismo.	Los niveles de glucosa en sangre aumentaron y se mantuvieron altos en el triatleta, mientras que el tenista permaneció en hipoglucemia durante toda la carrera. La ingesta de carbohidratos no afectó los niveles de glucosa en sangre. La magnitud de los cambios hormonales, por ejemplo, insulina, adrenalina y cortisol, fue mayor en el tenista. La concentración de glucosa en sangre no se correlacionó con la velocidad de carrera ni con la ingesta de carbohidratos; sin embargo, se observó una discrepancia en la transición de la glucosa en sangre entre el triatleta y el tenista, lo que indica una posible asociación entre la adaptación al ejercicio de resistencia y la cinética de la glucosa en sangre durante la carrera prolongada.

<p>Smith et al. (27)</p>	<p>23 participantes sin patologías (21,3 ± 3,0 años)</p>	<p>Mujeres (n=6) Hombres (n=17)</p>	<p>Caracterizar la respuesta glucémica ante un déficit energético agudo y grave en comparación con una condición de control con una ingesta energética adecuada, utilizando monitorización continua de glucosa (CGM).</p>	<p>Durante un estudio cruzado, doble ciego y controlado con placebo, los participantes aumentaron su gasto energético en 2.300 +/- 450 kcal/día durante 2 días. Este aumento se logró a través de ejercicio prescrito, equivalente a aproximadamente 3 horas al día y realizado al 40-65 % del consumo máximo de O₂. Además, consumieron dietas diseñadas para mantener el equilibrio energético (FED) o inducir un déficit energético del 93 % (DEF). Se realizaron mediciones continuas de las concentraciones de glucosa intersticial utilizando un sistema de CGM de Medtronic Minimed.</p>	<p>Las concentraciones de glucosa intersticial fueron 1.0 +/- 0.9 mmol/l más bajas durante DEF frente a FED (p <0.0001). El porcentaje de tiempo pasado en hipoglucemia leve (3.1-3.8 mmol/l) fue mayor durante la DEF en comparación con la FED (diferencia de medias = 20.5 %; Intervalo de confianza (IC) del 95%: 13.1%, 27.9%; p = 0.04), mientras que el tiempo pasado en hipoglucemia grave (<3.1 mmol/l) no fue diferente entre las intervenciones (diferencia de medias = 4.6%; IC del 95%: -0.6%, 9.8%; p = 0.10). Tres de 23 participantes informaron espontáneamente síntomas (p. ej., náuseas) potencialmente relacionados con la hipoglucemia durante la DEF, y un participante adicional informó síntomas durante ambas intervenciones.</p>
<p>Padre et al. (28)</p>	<p>55 atletas (43,7 ± 9,6 años)</p>	<p>Mujeres (n=12) Hombres (n=43)</p>	<p>Investigar el efecto de una carrera de ultra resistencia en los niveles de glucosa y comprender los posibles mecanismos fisiológicos, así como las implicaciones para el rendimiento y el estado de alerta conductual.</p>	<p>Los participantes completaron una carrera ultra Trail de 156 km, dividida en seis vueltas de 26 km, con una elevación total de 6000 m. Durante el estudio, utilizaron un sensor de monitorización continua de glucosa enmascarado desde el día anterior a la carrera hasta 10 días después de la misma. Se recolectaron muestras de sangre en reposo, durante las paradas para repostar después de cada vuelta y después de 24 horas de recuperación. Se examinaron varios aspectos, como la intensidad de la carrera (% de reserva de frecuencia cardíaca), el rendimiento (tiempos de vuelta), el estrés psicológico y el estado de alerta conductual. Además, se llevaron a cabo modelos lineales mixtos y regresiones logísticas para analizar los datos obtenidos.</p>	<p>En los ejercicios de la carrera, no se observó un aumento significativo en el riesgo de hipoglucemia en comparación con los valores en reposo. Sin embargo, las vueltas que abarcaban una mayor proporción de tiempo dedicado a la intensidad aeróbica máxima se correlacionaron con un aumento en el tiempo pasado con valores de glucosa por encima de 180 mg/dL (p = 0.021). Se registró un mayor riesgo de hiperglucemia durante las 48 horas posteriores a la carrera en comparación con antes de la misma (p < 0.05), con un 31,9% de los participantes experimentando tiempos con valores superiores a 180 mg/dL durante la recuperación, en contraste con el 5.5% durante el reposo.</p>

4.2. Evaluación de la calidad de los estudios de la revisión

La Tabla 4 muestra la puntuación que adquirieron en la escala STROBE las investigaciones añadidas en el presente trabajo. La media fue de 21,78 puntos de 22, con calificaciones de 20 hasta 22.

Tabla 4. Puntuación en la escala STROBE de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

ESCALA STROBE																								
Artículo	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10	Ítem 11	Ítem 12	Ítem 13	Ítem 14	Ítem 15	Ítem 16	Ítem 17	Ítem 18	Ítem 19	Ítem 20	Ítem 21	Ítem 22	Total	
Bauhaus et al. (15)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Yoshitake et al. (16)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Inamura et al. (17)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Kulawiec et al. (18)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Thomas et al. (19)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Oishi et al. (20)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Salomon et al. (21)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	20
Skroce et al. (22)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Shoji et al. (23)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Ishihara et al. (24)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Coates et al. (25)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Suzuki et al. (26)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	21
Smith et al. (27)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
Padre et al. (28)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22

4.3. Eficacia de los sistemas CGM para el control de la glucosa en deportistas

La Tabla 3 muestra de forma resumida varios estudios donde se compararon los datos obtenidos a través de la monitorización continua de glucosa y el método tradicional (punción capilar) con el objetivo de analizar la precisión de estos dispositivos.

Bauhaus et al. [15], evaluó la precisión y el rendimiento de los dispositivos CGM en atletas durante una prueba de ejercicio de resistencia, observando la concentración de glucosa en sangre capilar (CB) y líquido intersticial (ISF) durante diferentes niveles de actividad física. Encontraron una alta correlación entre las concentraciones de glucosa en CB e ISF en reposo y ayuno, aunque durante el ejercicio las diferencias entre los métodos fueron más notables. Concretamente, se encontró una correlación lineal positiva ($r = 0,9$, $p < 0,001$) entre las mediciones de concentración de glucosa en CB e ISF. Además, la diferencia de medición mostró límites de concordancia del 95% entre -7 y 47 mg/dL y una diferencia media entre los valores de glucosa entre los dos métodos de 20 mg/dL. Este hallazgo se complementa con el análisis del MARD (Mean Absolute Relative Difference, siglas en inglés), con un valor del $17 \pm 9\%$, indicando una precisión

promedio del dispositivo CGM en relación con el estándar de referencia. Este estudio, señala la importancia de considerar estas variaciones al interpretar los datos de glucosa obtenidos mediante MCG en deportistas, especialmente durante el ejercicio.

Por otro lado, Thomas et al. [19], revelaron que los dispositivos CGM, específicamente el Ipro2 y el Guardian Real-time, mostraron una buena correlación entre sí durante el ejercicio riguroso. Esto sugiere que el error entre las concentraciones de glucosa medidas por CGM y las medidas capilares probablemente se deba a efectos de transporte y absorción. Además, se encontró que los dispositivos Ipro2 mostraron una precisión equivalente o incluso mejor que la reportada para los pacientes diabéticos, con un MARD mediano de 9.7% y 9.6% durante el ejercicio en estado estable. Sin embargo, el dispositivo Guardian Real-time mostró un rendimiento mixto, con un MARD mediano de 20.3% en todo el análisis, indicando dificultades para rastrear los cambios rápidos en la glucosa después de la ingesta de glucosa y cambios en la intensidad del ejercicio. Por tanto, es preciso realizar una correcta selección del dispositivo a utilizar cuando hablamos de monitorización continua en deportistas. Seleccionando aquellos dispositivos que han demostrado una mayor precisión a la hora de realizar lecturas, así como seguir avanzando en el desarrollo de esta nueva tecnología.

Por último, la eficacia de la monitorización continua de glucosa no solo se analiza comprobando la precisión de estos dispositivos en comparación con el método tradicional. Por ejemplo, Ishihara et al. [24], vieron una correlación significativa entre la concentración de glucosa y la velocidad de carrera ($P < 0.005$). Además, se encontraron con que la ingesta de energía y carbohidratos se correlacionaba positivamente con la velocidad de carrera en general ($P < 0.01$). Estos hallazgos sugieren que la monitorización continua de glucosa podría ser práctica para garantizar una ingesta óptima de carbohidratos para cada corredor de ultra maratón. Proporcionando precisión en la ingesta de macronutrientes recomendada a cada atleta.

4.4. Beneficios de la CGM en deportistas

Tras un análisis exhaustivo de los estudios mencionados en la *Tabla 3*, se encontraron múltiples beneficios con respecto al uso de la monitorización continua de glucosa en deportistas. Entre ellos se incluyen una mayor conciencia de los cambios en los niveles de glucosa durante el ejercicio, la capacidad de ajustar la ingesta de carbohidratos de manera más precisa y una reducción del riesgo de hipoglucemia e hiperglucemia durante la actividad física intensa.

En primer lugar, Yoshitake et al. [16], observaron una correlación positiva significativa entre el nivel medio de glucosa en sangre y el número de ingestas durante los días de competición ($r = 0.713$, $p < 0.05$). Esto resalta el potencial de utilizar sistemas de monitorización continua para realizar ajustes precisos en la estrategia nutricional y buscar la mejora del rendimiento.

Por otro lado, Inamura et al. [17], revelaron que, en una ultramaratón de 100 millas, aquellos corredores que quedaron en posiciones más altas fueron los que consumieron una cantidad significativamente mayor de carbohidratos durante la carrera ($p < 0,05$). Además, los atletas peor clasificados mostraron una reducción más frecuente en los niveles de glucosa ($p = 0,012$) y fluctuaciones más altas ($p < 0,001$). Las fluctuaciones en los niveles de glucosa se correlacionaron significativa y negativamente con la velocidad de carrera de los finalistas ($\rho = -0,612$, $p = 0,012$). Es decir, los atletas más rápidos fueron los que consumieron una cantidad mayor de carbohidratos y mantuvieron los niveles estables de glucosa en sangre durante un tiempo más prolongado. Una vez más, este estudio refleja el potencial que puede tener el uso de CGM en atletas a la hora de ajustar la ingesta de este macronutriente y garantizar un correcto rendimiento.

Además, Kulawiec et al. [18], consiguieron ver como la variabilidad en los niveles de glucosa en sangre es mayor durante y después de realizar ejercicio de resistencia, lo que indica una respuesta fisiológica significativa a la actividad física exigente. Este hallazgo resalta la importancia de la monitorización continua de la glucosa para comprender mejor el metabolismo glucémico en atletas de resistencia y optimizar la recuperación después del ejercicio. Algo similar ocurría en un estudio realizado en un atleta monitorizado a lo largo de 5 carreras distintas, gracias al estudio de Oishi et al. [20], se observó como la glucosa del deportista fluctuaba en respuesta a la intensidad del ejercicio y a la ingesta de alimentos antes y durante la carrera. Lo que sugiere beneficios potenciales al utilizar estos sensores en deportistas para optimizar el rendimiento durante competiciones de larga duración.

Lo mismo se puede observar en el estudio realizado por Shoji et al. [23], donde la variabilidad de la glucosa en sangre disminuyó significativamente una hora después de la intervención en el grupo que realizó ejercicio a baja intensidad con movimientos lentos y generación de fuerza tónica en comparación con el grupo control (variabilidad glucémica a corto plazo en el grupo LST: pre 3.5 ± 6.2 , post 2.7 ± 2.7 , $p = 0.575$; variabilidad glucémica en el grupo control: pre 0.4 ± 0.7 , post 2.7 ± 2.0 , $p = 0.017$). Este estudio, una vez más, refleja el beneficio del CGM en deportistas de diferentes disciplinas.

Por último, Smith et al. [27], se demostraron como la detección temprana de hipoglucemia puede ayudar a prevenir complicaciones y optimizar el rendimiento deportivo. La asociación entre el tiempo pasado en hipoglucemia leve y el déficit energético subraya la importancia de una gestión cuidadosa de la ingesta energética para mantener niveles de glucosa en sangre estables durante el ejercicio prolongado.

Por tanto, al monitorear de forma continua los niveles de glucosa, los atletas pueden ajustar sus ingestas y estrategias deportivas para mantener los niveles de energía y evitar eventos de hipoglucemia e hiperglucemia, lo que podría traducirse en una mejora del rendimiento deportivo. Teniendo en cuenta las variaciones glucémicas individuales y de la modalidad deportiva, la CGM puede ser una herramienta valiosa para proporcionar ajustes personalizados a los requerimientos individuales de cada usuario.

4.5. Impacto de diferentes factores en el metabolismo glucémico y el rendimiento deportivo

Kulawiec et al. [18], observaron un aumento notable en los niveles de glucosa basal después de la prueba de ejercicio, lo que sugiere una respuesta hiperglucémica post ejercicio en los atletas. Además, los resultados sugieren que los atletas con niveles más bajos de glucosa basal pueden experimentar un mayor cambio después del ejercicio. Algo similar ocurrió en el estudio realizado por Padre et al. [28] donde identificaron una relación significativa entre la intensidad del ejercicio y las fluctuaciones en los niveles de glucosa (correlación de $r=0.75$, $p<0.05$). Resaltando, un nuevo hallazgo donde se destacan otros factores, como el estrés psicológico y la falta de sueño. En concreto, el estrés psicológico puede desencadenar respuestas fisiológicas que afectan la regulación de la glucosa en sangre, lo que a su vez puede influir en el rendimiento deportivo. Asimismo, la falta de sueño fue identificada como un factor que puede alterar el metabolismo glucémico y afectar negativamente a el rendimiento, ya que puede desregular los niveles de glucosa y comprometer la capacidad de recuperación del organismo, con una correlación negativa y estadísticamente significativa entre la duración del sueño y los niveles de glucosa ($r=-0.68$, $p<0.01$).

Por otro lado, el estudio de Oishi et al. [20], destaca el impacto de varios factores, como la ingesta de alimentos y la intensidad del ejercicio, en el metabolismo glucémico durante la actividad física prolongada. Se observó que la frecuencia cardíaca se correlacionaba con los cambios en los niveles de glucosa, lo que sugiere una interacción compleja entre el esfuerzo físico y el metabolismo glucémico durante el ejercicio de resistencia. Unido al impacto de la ingesta, Smith et al. [27] encontraron que las

concentraciones de glucosa intersticial fueron en promedio $1,0 \pm 0,9$ mmol/l más bajas durante el déficit energético en comparación con la condición de control ($p < 0,0001$). Además, se observó que el tiempo pasado en hipoglucemia leve (3,1-3,8 mmol/l) fue significativamente mayor durante el déficit energético en comparación con la condición de control (diferencia de medias = 20,5%; IC del 95%: 13,1%, 27,9%; $p = 0,04$).

Otro estudio en el que se observa la gran influencia de la práctica deportiva en los valores glucémicos es el otorgado por Salomon et al. [21]. Donde pudieron visualizar que la realización de actividad física, especialmente caminar o ejercicios de peso corporal, inmediatamente después de una comida puede tener un impacto significativo en la respuesta glucémica posprandial. Este hallazgo destaca la importancia del momento de la actividad física en relación con la ingesta de alimentos para optimizar el metabolismo glucémico después de las comidas y potencialmente mejorar el rendimiento deportivo.

Con el fin de indagar en otros factores que pueden influir en la variación glucémica, Skrocet al. [22], pudieron observar el impacto de diferentes factores. Concretamente, observaron diferencias significativas en los patrones de glucosa entre hombres y mujeres, así como entre diferentes categorías de IMC y niveles de entrenamiento. Este hallazgo destaca la importancia de considerar estos factores a la hora de diseñar las estrategias nutricionales y deportivas de cada atleta, y a su vez, el beneficio que otorga la monitorización continua de glucosa.

Por último, los resultados del estudio realizado por Suzuki et al. [26] sugieren que el estado de entrenamiento de los atletas puede influir en la respuesta metabólica durante el ejercicio prolongado, lo que se refleja en las diferencias en los niveles de glucosa en sangre y en los perfiles hormonales entre los atletas con diferentes estados de entrenamiento. Así mismo, un estado de sobre entrenamiento puede afectar en la utilización de carbohidratos durante el ejercicio [25]. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar el estado de entrenamiento individual al interpretar los cambios en el metabolismo glucémico durante el ejercicio. Sin embargo, debido a la baja muestra participativa en este estudio, es preciso analizar una muestra mayor para sacar conclusiones representativas a atletas.

En resumen, el análisis de diferentes factores como la intensidad del ejercicio, la ingesta de alimentos y la respuesta fisiológica al estrés demostró tener un impacto significativo en el metabolismo glucémico y, por ende, en el rendimiento deportivo. La comprensión de estos factores es crucial para optimizar el manejo de la glucosa durante el

entrenamiento y la competición, lo que puede mejorar el rendimiento y la salud general de los atletas.

4.6. Desafíos y limitaciones asociados con la implementación de sistemas CGM

Aunque los sistemas de monitorización continua de glucosa (CGM) ofrecen una herramienta prometedora para optimizar el rendimiento deportivo y la gestión de la glucosa, es importante tener en cuenta algunas consideraciones y limitaciones asociadas con su implementación:

- **Precisión y fiabilidad:** A pesar de los avances en la tecnología CGM, algunos estudios han destacado la necesidad de mejorar la precisión y la fiabilidad de estos dispositivos durante el ejercicio intenso [1, 5].
- **Factores externos:** Los sistemas CGM pueden ser susceptibles a la compresión del tejido durante ciertos movimientos o la exposición a temperaturas extremas. Estos factores pueden afectar la precisión de las mediciones y deben tenerse en cuenta al interpretar los datos proporcionados por los dispositivos CGM [12].
- **Calibración y ser capaces de interpretar datos:** La calibración adecuada y la configuración de los dispositivos CGM son aspectos críticos para garantizar su eficacia y precisión [1,3,5]. Algunos deportistas pueden enfrentar desafíos para calibrar correctamente los dispositivos o ajustar las configuraciones según sus necesidades individuales. La educación y el apoyo continuo son fundamentales para superar estos obstáculos y maximizar el beneficio de los sistemas CGM [3].
- **Costo y acceso:** Pueden suponer un costo elevado y no ser accesible para todos los deportistas debido a limitaciones financieras o restricciones de acceso [8].

En resumen, a pesar de los beneficios potenciales de los sistemas CGM en el ámbito deportivo, existen desafíos importantes que deben abordarse para maximizar su eficacia y utilidad.

5. Discusión

Los estudios analizados en el presente trabajo indican que la monitorización continua de glucosa puede representar una herramienta prometedora para la gestión efectiva de los niveles de glucosa en deportistas.

5.1. Eficacia de los sistemas CGM para el control de la glucosa en deportistas

Varios artículos han evaluado la precisión de estos dispositivos, concretamente, Bauhaus et al. [15] demostraron una alta precisión al comparar la medición de glucosa en sangre y líquido intersticial en condiciones de reposo y ayuno. Sin embargo, se han observado diferencias mayores en situaciones donde los niveles de glucosa experimentan variaciones rápidas, particularmente durante el ejercicio físico. Estas diferencias pueden atribuirse a factores como los efectos de transporte y absorción, así como a las características específicas de cada dispositivo de monitorización continua de glucosa [15,19]. Por lo tanto, la elección del dispositivo CGM más adecuado debe basarse en la precisión y el rendimiento probado en investigaciones específicas [19].

Es crucial mencionar que las diferencias en los niveles de glucosa entre la sangre y el líquido intersticial pueden atribuirse al tiempo necesario para que la glucosa se transporte del torrente sanguíneo al espacio intersticial [19]. Numerosos artículos científicos han evaluado la precisión de estos dispositivos, como por ejemplo Zaharieva DP et al. [29] donde examinaron sujetos con diabetes tipo 1 que realizaban ejercicio aeróbico. Este estudio concluye en que el intervalo entre la punción capilar y la monitorización continua de glucosa se debe al tiempo necesario para que la glucosa se transfiera del torrente sanguíneo al líquido intersticial, que puede ser de aproximadamente 10-20 minutos. Durante este tiempo, los sensores de glucosa pueden parecer menos precisos, especialmente cuando hay fluctuaciones glucémicas rápidas que aumentan o disminuyen los niveles de forma abrupta. Es crucial entender que este retraso no indica una falta de precisión en los dispositivos de monitorización continua de glucosa, sino más bien refleja el tiempo necesario para este proceso de transición. En los artículos revisados, este retraso se ha tenido en cuenta en uno de ellos [19], lo cual subraya la importancia de considerar este factor en futuras investigaciones para evitar posibles sesgos en las conclusiones. La Figura 2 ilustra el posible motivo de este retraso temporal.

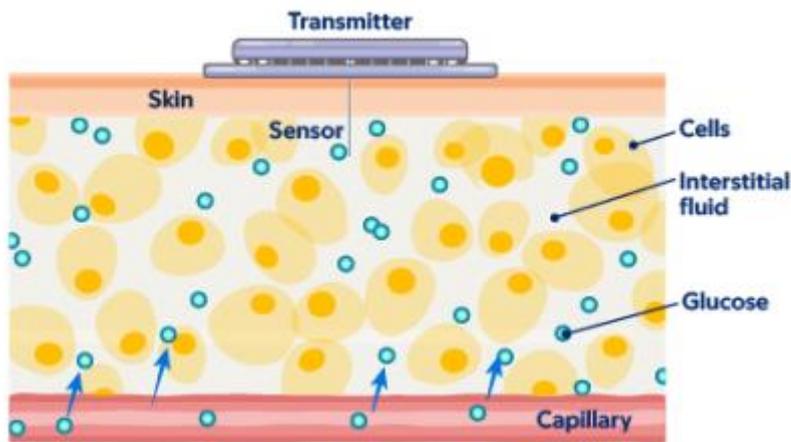


Figura 2. Sensor y transporte de glucosa del torrente sanguíneo al líquido intersticial. [30]

En resumen, los dispositivos de monitorización continua de glucosa han demostrado precisión a la hora de comparar sus resultados con los ofrecidos por el método tradicional en situación de reposo y ayuno. Aunque los CGM pueden experimentar una variación mayor en la detección de cambios rápidos en los niveles de glucosa, siguen siendo una herramienta interesante a utilizar en deportistas, siendo esencial considerar el retraso temporal en la medición a la hora de interpretar los datos. Por tanto, esta revisión subraya la necesidad de realizar más estudios en atletas sin alteraciones metabólicas que tengan en cuenta el tiempo de retraso entre la medición capilar e intersticial con el objetivo de evitar posibles sesgos en sus conclusiones.

5.2. Beneficios de la CGM en deportistas:

El análisis exhaustivo de los estudios incluidos en esta revisión revela múltiples beneficios asociados al uso de la monitorización continua de glucosa en deportistas. Entre estos beneficios, destaca la capacidad de concienciar a los atletas sobre la importancia de equilibrar sus ingestas y el reparto de macronutrientes a lo largo del día, teniendo en cuenta la práctica deportiva que van a realizar. Además, puede facilitar el ajuste del aporte de carbohidratos de manera más precisa y reducir el riesgo de sufrir eventos de hipoglucemia durante la actividad física, entre otros factores que se mencionan a continuación.

Optimizar las ingestas previas al ejercicio:

Los estudios de Yoshitake et al. [16] e Inamura et al. [17] resaltan la relación entre la ingesta de carbohidratos y el rendimiento deportivo. Estas investigaciones evidencian que los atletas que consumieron una cantidad significativamente mayor de

carbohidratos durante la actividad lograron mejores resultados y mantuvieron niveles estables de glucosa en sangre durante períodos más prolongados. Estos hallazgos subrayan la importancia de la monitorización continua de glucosa para ajustar la estrategia nutricional de manera individualizada y optimizar el rendimiento deportivo. La capacidad de ajustar la ingesta de carbohidratos basada en los datos proporcionados por la CGM representa un avance significativo en la nutrición deportiva, permitiendo a los deportistas maximizar su rendimiento y mantener niveles de glucosa estables.

Prevención de situaciones de hipoglucemia durante el ejercicio:

Los estudios de Kulawiec et al. [18], Oishi et al. [20] y Shoji et al. [23] destacan cómo la variabilidad en los niveles de glucosa durante y después del ejercicio puede afectar a el rendimiento y la recuperación atlética. Demostrando cómo el déficit energético o una ingesta insuficiente de carbohidratos puede impactar negativamente en la glucemia y, por ende, en el rendimiento.

Numerosos estudios y revisiones sistemáticas [1, 4, 20, 27] han vinculado los eventos de hipoglucemia con síntomas como mareos, náuseas, fatiga y dificultad de concentración, factores que pueden impactar de forma directa en el rendimiento deportivo. Esta revisión sistemática refuerza la hipótesis mencionada, destacando el estudio de Oishi et al. [20], en el cual un atleta experimentó eventos de hipoglucemia durante la segunda mitad de una carrera, desarrollando síntomas similares a los descritos y generando un efecto negativo sobre su rendimiento. De manera similar, el estudio de Smith et al. [27] mostró que los sujetos que llevaron a cabo una restricción energética en su dieta sufrieron episodios de hipoglucemia y reportaron los síntomas adversos mencionados. Estos hallazgos subrayan la importancia de un adecuado control de la glucosa para evitar las consecuencias adversas de la hipoglucemia en el desempeño atlético.

En conclusión, los hallazgos del presente estudio destacan la importancia que puede tener la detección temprana de eventos de hipoglucemia para prevenir complicaciones y optimizar el rendimiento deportivo. La CGM se presenta, por tanto, como una herramienta interesante a tener en cuenta. Permitiendo a los deportistas y entrenadores identificar y corregir a tiempo las tendencias a sufrir eventos de hipoglucemia, ajustando las cantidades de carbohidratos de manera precisa e individualizada antes, durante y después de la actividad física.

Mejorar calidad de descanso:

Cada vez más investigaciones científicas y revisiones sistemáticas [31] analizan la interacción entre el descanso, el rendimiento y la recuperación en atletas. Se ha demostrado que la duración y calidad del sueño afectan significativamente al rendimiento deportivo, especialmente en deportes que requieren velocidad, estrategia táctica y habilidades técnicas. La falta de sueño puede afectar de forma negativa a la capacidad de los atletas para tomar decisiones rápidas y precisas, así como su técnica en la ejecución de movimientos específicos [31]. Además, mantener una calidad de descanso adecuada es esencial para la recuperación física y mental condicionada en muchas ocasiones en atletas de élite, así como para facilitar la restauración de la función inmune y la reparación muscular tras un ejercicio de alta intensidad [31].

Estos hallazgos subrayan la importancia de analizar los diversos factores que pueden afectar la calidad del descanso, y aquí es donde la monitorización continua de glucosa puede ser especialmente útil. Padre et al. [28] encontraron una asociación entre niveles de hipoglucemia nocturna y una menor duración del descanso, lo que resalta el potencial de la CGM como herramienta interesante a tener en cuenta.

Por tanto, a diferencia del método tradicional, la monitorización continua de glucosa permite analizar los niveles de glucosa durante la noche, dando la oportunidad de identificar los eventos de hipoglucemia nocturna que podrían estar afectando a la calidad de sueño. Permitiendo el ajuste de la estrategia nutricional y reparto de macronutrientes a los requerimientos individuales de cada sujeto buscando una glucemia estable durante la noche.

Ajustes individualizados:

Los datos detallados proporcionados por CGM permiten una mejor comprensión de cómo el organismo del deportista responde a diferentes tipos de ejercicio [18,20,23], ingestas de alimentos [16,17,20,21] y otras variables [22], pudiendo facilitar así una planificación personalizada de entrenamientos y nutrición. Es decir, al proporcionar datos en tiempo real, la monitorización continua de glucosa, puede permitir entender las respuestas individuales a la alimentación y entrenamiento de cada atleta y tomar decisiones informadas y adaptadas a cada situación.

Por tanto, la CGM es una herramienta interesante que puede evaluar cómo diferentes fuentes de combustible (fruta, granos, barritas energéticas, geles, bebidas isotónicas, etcétera) impactan en los niveles de glucosa de forma individual en cada sujeto, siendo interesante para poder ajustar la ingesta de alimentos y bebidas deportivas durante los entrenamientos y competiciones de manera individualizada y precisa. Además,

posibilita la evaluación precisa de la rutina del deportista para realizar, una vez más, los ajustes necesarios y prevenir situaciones que pueden comprometer el rendimiento deportivo [18,20,23].

5.3 Impacto de diferentes factores en el metabolismo glucémico y el rendimiento deportivo

El análisis exhaustivo de diferentes factores extra a la alimentación, como la intensidad del ejercicio, la respuesta fisiológica al estrés y el estado de entrenamiento individual, ha revelado un impacto significativo en el metabolismo glucémico, y en consecuencia, en el rendimiento deportivo. Los estudios revisados han proporcionado una visión detallada de cómo estos factores interactúan para influir en los niveles de glucosa en sangre y en la capacidad de los atletas para mantener el rendimiento. En la Figura 3 se observan los factores identificados a lo largo de los estudios examinados que pueden influir en la variabilidad glucémica.



Figura 3. Factores que influyen en la variabilidad glucémica.

Modalidad deportiva o intensidad del ejercicio:

Tras un análisis exhaustivo de los datos recopilados en el presente estudio, destaca el impacto directo de la intensidad del ejercicio y las variaciones en los niveles de glucosa, sugiriendo que esfuerzos físicos más intensos pueden conducir a una mayor inestabilidad glucémica [20,21]. Este hallazgo es crucial para la planificación de entrenamientos y competiciones, permitiendo ajustar la carga de trabajo para optimizar

el rendimiento y evitar episodios de hipoglucemia. En particular, investigaciones han señalado que periodos de ejercicio de alta intensidad pueden inducir respuestas glucémicas rápidas y significativas, afectando la disponibilidad de glucosa para el músculo durante el ejercicio, y por ende, la capacidad de mantener el rendimiento deportivo a largo plazo [20,21,27].

Estrés:

Según lo demostrado por Padre et al. [23], el estrés puede desencadenar respuestas fisiológicas que afectan a la regulación de la glucosa. En particular, asocia el aumento de las hormonas epinefrina y cortisol con elevaciones en los niveles de glucosa en sangre [28].

Esta hipótesis queda contrastada por diversos estudios donde han investigado el impacto de situaciones estresantes en la regulación glucémica, evidenciando una conexión directa entre el incremento de cortisol y la elevación de la glucemia, como observaron Yaribeygi et al. [32]. El cortisol, conocido como la hormona del estrés o de "lucha o huida", juega un papel crucial al movilizar el glucógeno hepático al torrente sanguíneo en forma de glucosa. Es decir, una de sus funciones principales es la de garantizar que el organismo tenga suficiente energía para afrontar la situación estresante.

Además, la literatura ha documentado que episodios recurrentes de estrés pueden tener repercusiones negativas en el rendimiento deportivo. Concretamente, se ha observado una asociación entre episodios repetidos de estrés y un mayor riesgo a sufrir una lesión [33], una peor recuperación [33] y mayor susceptibilidad a contraer infecciones [34], entre otros. Por tanto, la monitorización continua de glucosa podría identificar aumentos en los niveles de glucosa ocasionados por eventos de estrés, permitiendo a los individuos identificar situaciones estresantes y tomar medidas efectivas para mitigar la situación y prevenir condiciones de estrés crónico.

Calidad de sueño:

La importancia de la calidad del descanso ha sido evidenciada a lo largo del presente trabajo. Sin embargo, la relación entre la calidad de sueño y los niveles de glucosa es bidireccional. Se ha observado que el descanso influye significativamente en la variabilidad glucémica. Por ejemplo, estudios como el de Padre et al. [28] encontraron una correlación negativa y significativa entre la duración del sueño y los niveles de glucosa, resaltando la importancia de un sueño adecuado para la recuperación y el rendimiento óptimos.

Además de estos hallazgos, varios estudios realizados en población general han analizado el impacto del descanso en la variabilidad glucémica. En una revisión sistemática exhaustiva, Kristen L. et al. [35] concluyeron que el sueño influye en los patrones de concentración de glucosa a lo largo de 24 horas. Además, han revelado que la privación total de sueño reduce significativamente la tolerancia a la glucosa y la sensibilidad a la insulina, alterando las respuestas glucémicas.

Otros factores:

La respuesta glucémica puede verse afectada por diversos factores como el género [22,26], el índice de masa corporal (IMC) [22] y otras características individuales. Estos hallazgos subrayan la importancia de personalizar las estrategias nutricionales y de entrenamiento para cada atleta, considerando sus características individuales y utilizando herramientas como el CGM para monitorizar y ajustar las intervenciones en tiempo real.

Por tanto, son múltiples los factores que influyen tanto en el rendimiento deportivo como en los niveles de glucosa, enfatizando la necesidad de considerar todos estos factores a la hora de analizar los datos glucémicos y realizar nuevas investigaciones. Parece no ser suficiente solo tener en cuenta la medición de la glucosa, es necesario contextualizar estos datos con información sobre el tipo de alimentación, el ejercicio, el descanso, el estrés y otros hábitos de vida. Por ello, es fundamental mencionar la existencia de diversas herramientas digitales diseñadas para capturar y analizar una amplia gama de factores que influyen en la respuesta glucémica. Integrando datos sobre las ingestas, reparto de macronutrientes, actividad física, intensidad del ejercicio, pulsaciones, calidad de descanso, estrés y otros parámetros relevantes para la salud y el rendimiento deportivo.

Destaca la empresa Glucovibes [36], donde han desarrollado una herramienta intuitiva y fácil de usar que permite a los usuarios registrar de manera sencilla sus ingestas alimentarias junto a la monitorización continua de glucosa y los factores mencionados. Además, estas aplicaciones ofrecen la posibilidad de integrarse con otros dispositivos externos, proporcionando una visión más completa de la salud del usuario. Por ejemplo, se puede vincular con dispositivos que registran la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), el pulso y otros datos biométricos. También permite a los usuarios completar cuestionarios sobre la calidad del descanso, horas de sueño y consumo diario de fibra, entre otros aspectos. Esta integración de múltiples fuentes de datos es esencial para obtener una comprensión completa de los factores que influyen en la respuesta glucémica y a su vez en el rendimiento deportivo. Al considerar todos estos elementos,

los usuarios pueden ajustar sus hábitos de manera más efectiva para optimizar su salud y rendimiento deportivo.

Aplicaciones como la de Glucovibes [36] cuentan con un equipo profesional dedicado a guiar a los usuarios y prevenir malas interpretaciones. La implementación exitosa de la monitorización continua de glucosa no solo va a depender de considerar los factores mencionados, sino también de una interpretación precisa de los datos por parte de profesionales capacitados. Es fundamental que los deportistas reciban orientación de profesionales de la salud y del deporte para asegurar que maximizan los beneficios de esta tecnología innovadora. Los médicos y nutricionistas deportivos desempeñan un papel crucial en la interpretación de los datos obtenidos mediante la CGM. Estos expertos no solo comprenden las complejidades de la regulación glucémica y su impacto en el rendimiento deportivo, sino que también pueden asesorar a los atletas en la toma de decisiones informadas basadas en estos datos. Una interpretación incorrecta de los datos de la CGM podría llevar a decisiones erróneas que afecten negativamente al rendimiento deportivo o a la salud metabólica.

En resumen, la integración de CGM con aplicaciones y dispositivos que capturan datos sobre alimentación, actividad física, calidad del sueño y otros factores de salud puede ser crucial a la hora de buscar un rendimiento óptimo en diversos deportes donde los segundos pueden marcar la diferencia entre el primer y el segundo lugar. Permitiendo obtener una interpretación completa y detallada de la rutina de los deportistas y convirtiendo a la CGM en una herramienta poderosa para la gestión de la salud y el rendimiento deportivo.

6. Aplicabilidad y Nuevas Líneas de Investigación

Tras un análisis exhaustivo de los estudios revisados en esta revisión sistemática, se han identificado múltiples áreas de investigación prometedoras y limitaciones que deben abordarse para sacar el máximo beneficio a la monitorización continua de glucosa y conocer su potencial en el ámbito deportivo. A continuación, se propone una intervención con el objetivo de incrementar el conocimiento relacionado con la CGM.

6.1. Diseño y tipo de estudio o intervención

Se propone realizar un ensayo clínico aleatorizado a lo largo de 6 meses, donde se evaluarán dos estrategias nutricionales diferentes en dos grupos de 40 ciclistas de élite. Este estudio incluirá 6 periodos de monitorización continua de glucosa, cada una con una duración de 14 días, para analizar la variabilidad glucémica inducida por cada estrategia y su impacto en el rendimiento deportivo. Se utilizarán los CGM más

avanzados y validados, como Ipro2 o FreeStyle Libe [15,19], con el objetivo de garantizar mediciones precisas y fiables. Además, se tendrá en cuenta el tiempo de transición necesario en el transporte de glucosa del torrente sanguíneo al líquido intersticial [19].

Los participantes seguirán dos estrategias nutricionales distintas. Un grupo seguirá una dieta rica en carbohidratos (7-10 g por kg de peso al día), mientras que el otro grupo seguirá una dieta baja en carbohidratos (< 2,5 g por kg de peso al día) [37]. Ambos grupos estarán guiados por un grupo especializado en nutrición deportiva para no condicionar el rendimiento deportivo, ni salud general.

Se evaluará el impacto de cada estrategia nutricional en el rendimiento deportivo mediante mediciones de resistencia y velocidad adaptadas y se realizará un análisis de las sensaciones percibidas por cada atleta a través de cuestionarios con el objetivo comprender mejor los efectos de la variabilidad glucémica.

6.2. Población diana

La muestra estará compuesta por 40 ciclistas de élite, distribuidos equitativamente entre ambos grupos de estudio. Se incluirán 20 ciclistas en cada grupo, asegurando una representación equilibrada por género (10 mujeres y 10 hombres). Los participantes deberán cumplir con **criterios de inclusión**, que incluyen: a) nivel avanzado de entrenamiento y b) edades comprendidas entre los 18 y 40 años. Además, se contarán con **criterios de exclusión** como: a) sujetos con patologías metabólicas previas como hipotiroidismo, embarazo, diabetes o resistencia a la insulina y b) uso de medicamentos que afectan al control glucémico (e.g. antidiabéticos) [29].

6.3. Sistema de recogida de datos

Para asegurar una recogida de datos integral y centralizada, se utilizará la aplicación Glucovibes donde se realizarán las lecturas con los CGM avanzados compatibles (FreeStyle Libre) y se registrarán parámetros específicos relacionados con el rendimiento deportivo.

La aplicación Glucovibes, a través de cuestionarios sencillos de realizar, permite registrar las ingestas realizadas a lo largo del día, evaluar la calidad y duración del sueño. Además, integra funcionalidades para registrar la duración e intensidad los entrenamientos y competiciones, frecuencia cardíaca y HRV. Asimismo, permite registrar eventos y el periodo menstrual dentro de la misma aplicación.

Por tanto, la aplicación Glucovibes centralizará todos estos datos, permitiendo una interpretación conjunta que tenga en cuenta los múltiples factores que pueden influir sobre los niveles de glucosa y el rendimiento deportivos evitando conclusiones sesgadas y facilitará un análisis completo.

6.4. Variables de estudio

En este estudio, las variables independientes consisten en dos estrategias nutricionales distintas aplicadas a dos grupos de 40 ciclistas de élite a lo largo de un periodo de 6 meses. Estas condiciones nutricionales han sido seleccionadas para evaluar su impacto glucémico y relacionar los datos obtenidos con los resultados deportivos y sensaciones percibidas. Las variables dependientes incluyen medidas específicas de rendimiento deportivo, como la duración e intensidad de entrenamiento, alimentación, pulso y HRV. Además, se registran datos subjetivos de los atletas a través de cuestionarios integrados en la aplicación Glucovibes, que evalúan aspectos como la calidad del descanso, la duración del sueño, y otros factores relacionados con el rendimiento deportivo. Estas variables dependientes son cruciales para comprender el impacto global de las estrategias nutricionales en la variabilidad glucémica y rendimiento deportivo.

6.5. Estrategia de análisis de datos

Una vez recopilados todos los datos a lo largo de los seis meses de estudio, se procederá a evaluar los efectos de las estrategias nutricionales en la variabilidad glucémica y el rendimiento deportivo. Se utilizará un enfoque analítico que considerará la influencia de las dos estrategias dietéticas, diferenciando los grupos por sexo. Se empleará el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias significativas entre los grupos y se realizarán análisis de correlación para explorar las relaciones entre las variables independientes y dependientes.

6.6. Consideraciones éticas

Para asegurar el cumplimiento de los principios éticos durante el desarrollo de este estudio, se seguirán rigurosos procedimientos. Previo al inicio de la intervención, el diseño experimental será evaluado por un Comité de Ética independiente para obtener su aprobación. Este comité revisará detalladamente los métodos propuestos para el análisis, conservación y eliminación de los datos recogidos durante el estudio. Además, antes de su participación, todos los sujetos recibirán información completa sobre los objetivos, naturaleza, metodología, beneficios y riesgos del estudio. En la primera sesión de participación, una vez que los participantes hayan comprendido la información proporcionada, se les solicitará que firmen un documento de consentimiento informado.

Este documento enfatizará la participación voluntaria y el derecho de los participantes a retirarse en cualquier momento sin repercusiones. Finalmente, el estudio se conducirá respetando los derechos de los participantes y los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y sus revisiones posteriores [38].

7. Conclusiones

Los CGM han demostrado eficacia en el control de la glucosa y pueden ser una excelente herramienta tanto para contextos deportivos como clínicos. Además de proporcionar datos instantáneos, permiten entender cómo diversos factores relacionados con el rendimiento deportivo pueden influir en el control glucémico. La capacidad de ofrecer información sobre la respuesta glucémica en tiempo real permite a médicos y nutricionistas tomar decisiones informadas y estratégicas, mejorando así la personalización de estrategias para optimizar el rendimiento y la salud a largo plazo.

8. Bibliografía

- [1] Skroce K, Zignoli A, Fontana FY, Maturana FM, Lipman D, Tryfonos A, Riddell MC, Zisser HC. Real world interstitial glucose profiles of a large cohort of physically active men and women. *Sensors (Basel)* 2024;24(3):744.
- [2] Hearn MA, Hammond KM, Fell JM, Morton JP. Regulation of muscle glycogen metabolism during exercise: Implications for endurance performance and training adaptations. *Nutrients* 2018;10(3).
- [3] Flockhart M, Larsen FJ. Continuous glucose monitoring in endurance athletes: Interpretation and relevance of measurements for improving performance and health. *Sports Med* 2023;54(2).
- [4] Jeukendrup AE, Wagenmakers AJM, Stegen JHCH, Gijzen AP, Brouns F, Saris WHM. Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 1999;276(4):E672–83.
- [5] Zeevi D, Korem T, Zmora N, Israeli D, Rothschild D, Weinberger A, Ben-Yacov O, Lador D, Avnit-Sagi T, Lotan-Pompan M, Suez J, Mahdi JA, Matot E, Malka G, Kosower N, Rein M, Zilberman-Schapira G, Dohnalová L, Pevsner-Fischer M, Bikovsky R, Halpern Z, Elinav E, Segal E. Personalized nutrition by prediction of glycemic responses. *Cell* 2015;163(5):1079–94.
- [6] Merino J, Linenberg I, Bermingham KM, Ganesh S, Bakker E, Delahanty LM, Chan AT, Pujol JC, Wolf J, Al Khatib H, Franks PW, Spector TD, Ordovas JM, Berry SE, Valdes AM. Validity of continuous glucose monitoring for categorizing glycemic responses to diet: implications for use in personalized nutrition. *Am J Clin Nutr* 2022;115(6):1569–76.
- [7] Holzer R, Bloch W, Brinkmann C. Continuous glucose monitoring in healthy adults—possible applications in health care, wellness, and sports. *Sensors* 2022;22(5):2030.
- [8] Ishihara K, Uchiyama N, Kizaki S, Mori E, Nonaka T, Oneda H. Application of continuous glucose monitoring for assessment of individual carbohydrate requirement during ultramarathon race. *Nutrients* 2020;12(4):1121.
- [9] Jin Z, Thackray AE, King JA, Deighton K, Davies MJ, Stensel DJ. Analytical performance of the factory-calibrated flash glucose monitoring system FreeStyle Libre2™ in healthy women. *Sensors (Basel)* 2023;23(17).

- [10] Clavel P, Tiollier E, Leduc C, Fabre M, Lacombe M, Buchheit M. Concurrent validity of a continuous glucose-monitoring system at rest and during and following a high-intensity interval training session. *Int J Sports Physiol Perform* 2022;17(4):627–33.
- [11] Moser O, Mader JK, Tschakert G, Mueller A, Groeschl W, Pieber TR, Köhler G, Messerschmidt J, Hofmann P. Accuracy of continuous glucose monitoring (CGM) during continuous and high-intensity interval exercise in patients with type 1 diabetes mellitus. *Nutrients* 2016;8(8):489.
- [12] Didyuk O, Econom N, Guardia A, Livingston K, Klueh U. Continuous glucose monitoring devices: Past, present, and future focus on the history and evolution of technological innovation. *J Diabetes Sci Technol* 2021;15(3):676–83.
- [13] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Welch VA, Whiting P, Moher D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *J Clin Epidemiol.* 2021;134:178–89.
- [14] Vandebroucke JP, Von Elm E, Altman DG, Gøtzsche PC, Mulrow CD, Pocock SJ, Poole C, Schlesselman JJ, Egger M. Mejorar la comunicación de estudios observacionales en epidemiología (STROBE): explicación y elaboración. *Gac Sanit.* 2009;23(2):158.e1-158.e28.
- [15] Bauhaus H, Erdogan P, Braun H, Thevis M. Continuous glucose monitoring (CGM) in sports. A comparison between a CGM device and lab-based glucose analyser under resting and exercising conditions in athletes. *International Journal of Environmental and Public Health.* 2023;20(15):6440.
- [16] Yoshitake R, Ogata H, Omi N. Blood glucose levels during decathlon competition: An observational study in timing of intake and competing time. *Metabolites.* 2024;14(1):47.
- [17] Inamura N, Taniguchi H, Yoshida S, Nishioka M, Ishihara K. A comparative observational study of carbohydrate intake and continuous blood glucose levels in relation to performance in ultramarathon. *Sci Rep.* 2024;14(1):1–9.
- [18] Kulawiec DG, Zhou T, Knopp JL, Chase JG. Continuous glucose monitoring to measure metabolic impact and recovery in sub-elite endurance athletes. *Biomed Signal Process Control.* 2021;70(103059):103059.

- [19] Thomas F, Pretty CG, Signal M, Shaw G, Chase JG. Accuracy and performance of continuous glucose monitors in athletes. *Biomed Signal Process Control*. 2017;32:124–9.
- [20] Oishi A, Makita N, Kishi S, Isogawa A, Iiri T. Continuous glucose monitoring of a runner during five marathons. *Sci Sports*. 2018;33(6):370–4.
- [21] Solomon TPJ, Tarry E, Hudson CO, Fitt AI, Laye MJ. Immediate post-breakfast physical activity improves interstitial postprandial glycemia: a comparison of different activity-meal timings. *Pflugers Arch*. 2020;472(2):271–80.
- [22] Skroce K, Zignoli A, Fontana FY, Maturana FM, Lipman D, Tryfonos A, et al. Real world interstitial glucose profiles of a large cohort of physically active men and women. *Sensors (Basel)*. 2024;24(3):744.
- [23] Shoji T, Hamasaki H, Kawaguchi A, Waragai Y, Yanai H. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on short-term glycemic variability in healthy subjects: A randomized controlled study. *Appl Sci (Basel)*. 2021;11(4):1536.
- [24] Ishihara K, Uchiyama N, Kizaki S, Mori E, Nonaka T, Oneda H. Application of continuous glucose monitoring for assessment of individual carbohydrate requirement during ultramarathon race. *Nutrients*. 2020;12(4):1121.
- [25] Coates AM, Thompson KMA, Grigore MM, Baker RE, Pignanelli C, Robertson AA, et al. Altered carbohydrate oxidation during exercise in overreached endurance athletes is applicable to training monitoring with continuous glucose monitors. *Scand J Med Sci Sports*. 2024;34(1).
- [26] Suzuki Y, Shimizu T, Ota M, Hirata R, Sato K, Tamura Y, et al. Different training status may alter the continuous blood glucose kinetics in self-paced endurance running. *Exp Ther Med*. 2015;10(3):978–82.
- [27] Smith TJ, Wilson MA, Karl JP, Austin K, Bukhari A, Pasiakos SM, et al. Interstitial glucose concentrations and hypoglycemia during 2 days of caloric deficit and sustained exercise: a double-blind, placebo-controlled trial. *J Appl Physiol*. 2016;121(5):1208–16.
- [28] Parent C, Mauvieux B, Lespagnol E, Hingrand C, Vauthier J-C, Noirez P, et al. Glycaemic effects of a 156-km ultra-trail race in athletes: An observational field study. *Sports Med*. 2024

- [29] Zaharieva DP, Turksoy K, McGaugh SM, Pooni R, Vienneau T, Ly T, et al. Lag time remains with newer real-time continuous glucose monitoring technology during aerobic exercise in adults living with type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther.* 2019;21(6):313–21.
- [30] Información sobre el monitor continuo de glucosa (CGM) [Internet]. Memorial Sloan Kettering Cancer Center. [citado el 14 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.mskcc.org/es/cancer-care/patient-education/about-your-continuous-glucose-monitor-cgm>
- [31] Kirschen GW, Jones JJ, Hale L. The impact of sleep duration on performance among competitive athletes: A systematic literature review. *Clin J Sport Med.* 2020;30(5):503–12.
- [32] Yaribeygi H, Maleki M, Butler AE, Jamialahmadi T, Sahebkar A. Molecular mechanisms linking stress and insulin resistance. Vol. 21, *EXCLI Journal*. IfADo - Leibniz Research Centre for Working Environment and Human Factors, Dortmund; 2022.
- [33] Soligard T, Schwelnus M, Alonso J-M, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med.* 2016;50(17):1030–41.
- [34] Gleeson N. *Exercise immunology*. 1st Edition. Gleeson M, Bishop N, Walsh N, editores. Londres, Inglaterra: Routledge; 2013.
- [35] Knutson KL. Impact of sleep and sleep loss on glucose homeostasis and appetite regulation. *Sleep Med Clin.* 2007;2(2):187–97.
- [36] Glucovibes [Internet]. Glucovibes. 2021 [citado el 14 de junio de 2024]. Disponible en: <https://glucovibes.com/>
- [37] Burke LM, Hawley JA, Jeukendrup A, Morton JP, Stellingwerff T, Maughan RJ. Toward a common understanding of diet–exercise strategies to manipulate fuel availability for training and competition preparation in endurance sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018;28(5):451–63.
- [38] World Medical Association. World Medical Association declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA.* 2013 Nov;310(20):2191-4.