1. La historia y el futuro de la nutrición deportiva

1.1 Historia

1.1.1 Donde todo comenzó

Griegos y romanos

Se podría argumentar que la nutrición deportiva comenzó en el paraíso cuando Eva le dio la manzana a Adán para hacer que fuera tan fuerte como Dios. La nutrición siempre ha intrigado a los humanos. Desde la antigua Grecia, la nutrición se ha relacionado con el rendimiento y la salud. Fue Hipócrates (460 a. C.-aprox. 370 a. C.) quien dijo: "Si pudiéramos proporcionar a cada individuo la cantidad adecuada de nutrición y ejercicio, ni muy poca ni demasiada, habríamos encontrado el camino más seguro hacia la salud". La dieta de la mayoría de los griegos y romanos era predominantemente vegetariana y consistía en cereales, frutas, verduras y legumbres, así como vino diluido con agua. Cuando comían carne, su procedencia más común era la cabra para los griegos y el cerdo para los romanos.

Se cree que la primera información documentada sobre una dieta especial de un atleta griego fue Charmis de Esparta. Se dice que entrenó con una dieta de higos secos. Hay otros informes en los que se indica que los higos se utilizaban en la nutrición deportiva. El pedestrismo era una parte importante del entrenamiento del ejército, y algunos corredores profesionales solían enviar [*sic*] mensajes, en ocasiones a largas distancias. El corredor más conocido fue quizás Filípides, quien ha sido vinculado al origen de la maratón. Se dice que Filípides corrió de Atenas a Esparta (240 km) para pedir ayuda a los espartanos cuando los persas estaban a punto de destruir Atenas. Cuando los espartanos respondieron que se encontraban celebrando una ceremonia anual y que sus leyes no les permitían ir a Atenas para ayudar, Filípides tuvo que regresar corriendo para transmitir las malas noticias.

"Si pudiéramos proporcionar a cada individuo la cantidad adecuada de nutrición y ejercicio, ni muy poca ni demasiada, habríamos encontrado el camino más seguro hacia la salud". Hipócrates (460 a. C.- aprox. 370 a. C.)

Corrió entonces un total de 480 km, y se supone que habría usado los higos como una de sus principales fuentes de energía. Se ha estimado que, con sus 50 kg, gastó 28 000 kcal (112 000 kJ). Supuestamente, también corrió de Maratón a Atenas (40 km), que luego se convirtió en la distancia de maratón en los Juegos Olímpicos modernos. Sin embargo, aún se debate si esta carrera realmente tuvo lugar. (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 9).

Juegos Olímpicos

Según Galeno y otros autores, a finales del siglo III a. C., los atletas creían que beber tés de hierbas y comer hongos podía aumentar su rendimiento durante la competencia en los antiguos Juegos Olímpicos. También hay un informe que afirma que Dromeo de Estínfalo, un ex corredor de fondo, introdujo una dieta a base de carne a mediados del siglo V. Otro relato de Diógenes Laercio informa que Eurímenes de Samos consumió una dieta a base de carne recomendada por su entrenador, Pitágoras de Crotona. Sin embargo, los mejores relatos sobre la dieta atlética que han sobrevivido de la antigüedad son los de Milón de Crotona, un luchador cuyas hazañas de fuerza se convirtieron en legendarias y quien ganó el evento de lucha en cinco Olimpíadas sucesivas de 532 a. C. a 516 a. C. Su dieta supuestamente consistía en 9 kg (20 libras) de carne, 9 kg (20 libras) de pan y 8,5 l (18 pintas) de vino al día. Sin embargo, la validez de estos informes de la antigüedad debe ser tomada con reservas. Aunque Milón era claramente un hombre grande y fuerte que poseía un apetito prodigioso, las estimaciones básicas revelan que, si hubiera entrenado con tal volumen de alimentos, Milón habría consumido aproximadamente 57 000 kcal (238 500 kJ) por día.

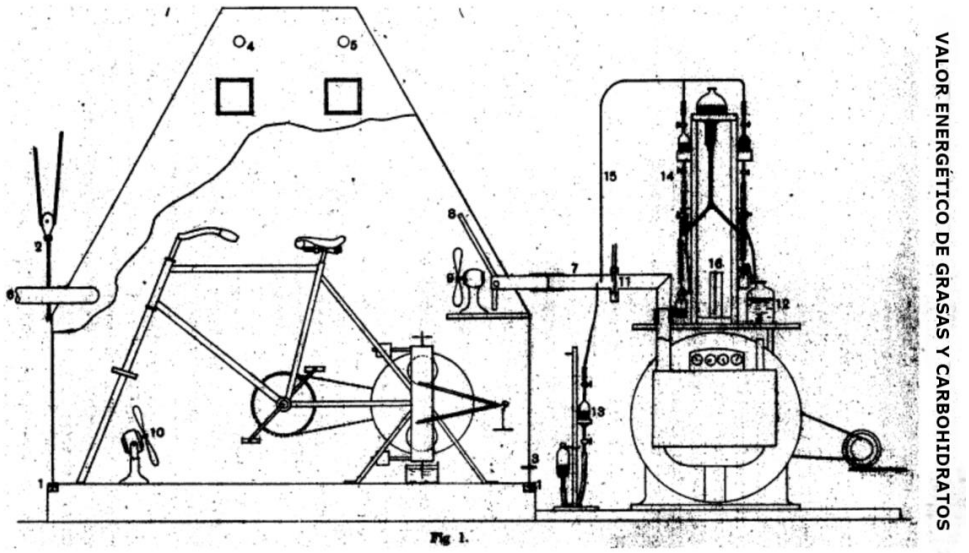
En América del Sur, se utilizaban estimulantes como el mate, el café y la coca para aumentar el rendimiento. Se ha señalado que los incas masticaban hojas de coca para

cubrir la distancia entre Cuzco y Quito, en Ecuador (>1600 km). (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 10).

1.1.2 El primer abordaje experimental

Un abordaje experimental en el campo del metabolismo energético muscular humano tuvo su inicio a mediados del siglo XIX. En 1842, Justus von Liebig afirmó que el principal combustible para la contracción muscular era la proteína. Sin embargo, dos décadas después von (von Pettenkofer y Voit, 1866) demostró que esto era falso. Los experimentos de laboratorio posteriores se centraron en verificar si los carbohidratos y la grasa podrían usarse directamente al contraer la musculatura esquelética. Después de algunos estudios iniciales realizados por Chaveux, que respaldaban la opinión de que la grasa tenía que convertirse en carbohidratos antes de que pudiera ser utilizada por el músculo, Zuntz (1901) afirmó que tanto los carbohidratos como la grasa eran oxidados por la musculatura esquelética, no solo durante el descanso sino también durante el ejercicio. Esto fue confirmado en estudios posteriores por Krogh y Lindhard (1920). También demostraron que ambos combustibles se usaban al mismo tiempo, en la mayoría de los casos, mientras que la proteína normalmente no desempeñaba un papel como proveedor de energía. (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 10).

Figura 1: Aparato de análisis de gases de Jaquet



Fuente: Krogh y Lindhard, 1920, p. 295.

Este es el experimento que Krogh y Lindhardt (1920) utilizaron para medir la utilización de carbohidratos y grasas durante el ejercicio. Se midió el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono y, a partir de esto, se calculó la oxidación de los carbohidratos y la grasa.

Los carbohidratos se pueden convertir y almacenar como grasa, pero la grasa no se puede convertir ni almacenar como carbohidratos, aunque parte del producto de degradación (glicerol) se puede usar en la gluconeogénesis para producir glucosa.

> Otros investigadores [a principios del siglo XX] tuvieron un abordaje más aplicado. Estudiaron la dieta de los exploradores del Ártico que cruzaron los casquetes de hielo del mundo. Las expediciones polares establecieron que con una ingesta de energía de hasta un 60-70 % proveniente de la grasa, los sujetos aún podrían mantener un rendimiento de ejercicio intenso diario relativamente alto. Sin embargo, los perros de trineo podían desempeñar su tarea pesada con una dieta que contenía hasta un 90 % de grasa. (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 11).

La importancia de la alimentación con carbohidratos

> Levine y colegas también realizaron observaciones importantes en la década de 1920 [Levine, Gordon, y Derick,

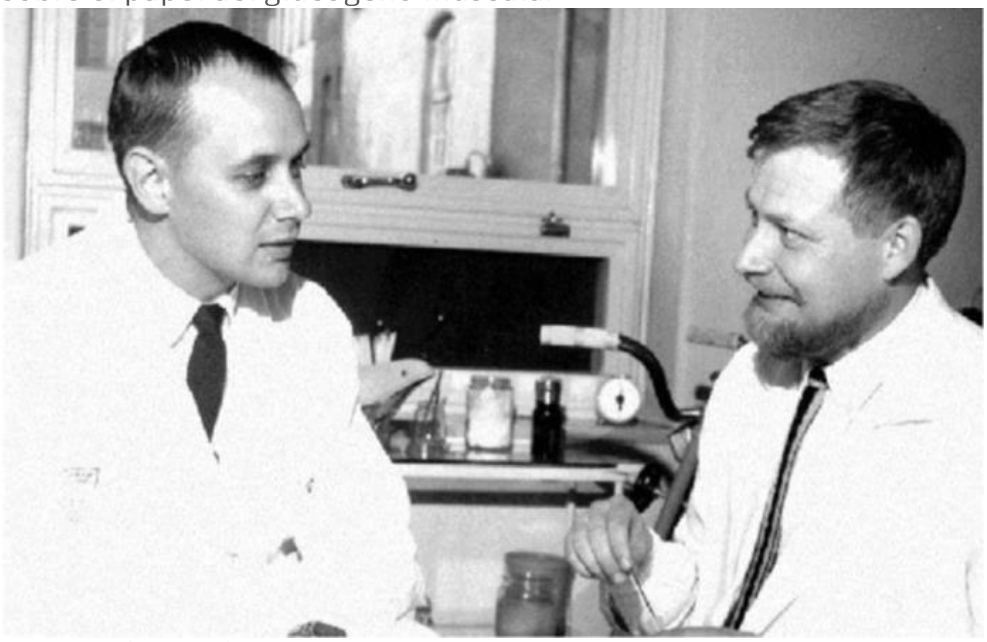
1924]. Midieron las concentraciones de glucosa en sangre de algunos de los participantes de la maratón de Boston de 1923... Observaron que las concentraciones de glucosa disminuyeron notablemente después de la carrera en la mayoría de los corredores. Estos investigadores sugirieron que los niveles bajos de glucosa en sangre eran una causa de la fatiga. Para probar esa hipótesis, alentaron a varios participantes de la misma maratón al año siguiente a que consumieran carbohidratos (dulces) durante la carrera. Este ensayo, en combinación con una dieta alta en carbohidratos antes de la carrera, pareció prevenir la hipoglucemia (bajo nivel de glucosa en sangre) y mejoró significativamente el rendimiento al correr (es decir, el tiempo para completar la carrera).

Dill, Edwards y Talbott (1932) también demostraron la importancia de los carbohidratos para mejorar la capacidad de ejercicio. Estos investigadores dejaron correr a sus perros, Joe y Sally, sin alimentarlos con carbohidratos. Los perros desarrollaron hipoglucemia y se mostraron fatigados después de 4 a 6 horas. Cuando se repitió la prueba, con la única diferencia de que los perros fueron alimentados con carbohidratos durante el ejercicio, los perros corrieron de 17 a 23 horas. (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 12).

1.1.3 Estudios escandinavos

En la década de 1950-60, se mejoraron las metodologías y se introdujeron nuevas técnicas, como el uso de isótopos; además, la aguja para biopsia fue reintroducida para tomar biopsias musculares y medir el glucógeno muscular (por Jonas Bergström y Eric Hultman, 1967).

Figura 2: Jonas Bergström y Eric Hultman, quienes se realizaron biopsias musculares entre sí y comenzaron un trabajo innovador sobre el papel del glucógeno muscular



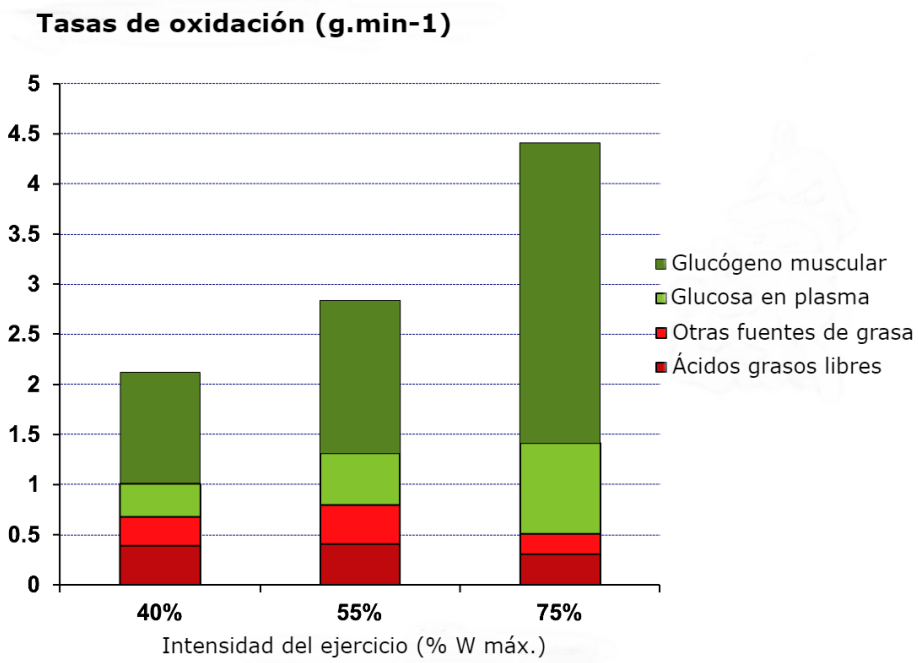
Fuente: Hawley, Maughan y Hargreaves, 2015, p. 14.

Esto proporcionó nuevas herramientas que permitieron una investigación más detallada de los sustratos utilizados y los metabolitos producidos por el músculo (Bergström, Hermansen, Hultman, y Saltin, 1967; Bergstrom y Hultman, 1967; Hultman y Bergstrom, 1967).

El almacenamiento y uso de glucógeno muscular (Bergström et al., 1967; Bergstrom y Hultman, 1967; Hultman y Bergstrom, 1967) fue ampliamente investigado. Pero también la grasa como combustible recibió algo de atención. Los ácidos grasos (AG) fueron reconocidos como jugadores claves en el metabolismo del ejercicio (Havel, Pernow, y Jones, 1967).

Desde entonces, muchos estudios sobre el ejercicio han investigado el papel de la grasa y los carbohidratos durante el ejercicio y sus contribuciones relativas al gasto energético. Se hicieron muchos descubrimientos con respecto a los factores que limitan el uso de estos sustratos y los mecanismos que regulan el uso de estos sustratos. Está claro que los carbohidratos son necesarios para el ejercicio de alta intensidad y que, durante el ejercicio de 80 % de VO_2 máx. o más, la oxidación de la grasa se reduce significativamente o incluso es insignificante (Randell et al., 2017; van Loon, Greenhaff, Constantin-Teodosiu, Saris, y Wagenmakers, 2001; Venables, Achten, y Jeukendrup, 2005). La oxidación de la grasa aumenta significativamente después de varias semanas (generalmente de 10 a 12 semanas) de entrenamiento de resistencia (Holloszy y Coyle, 1984).

Figura 3: Uso del sustrato en función de la intensidad del ejercicio

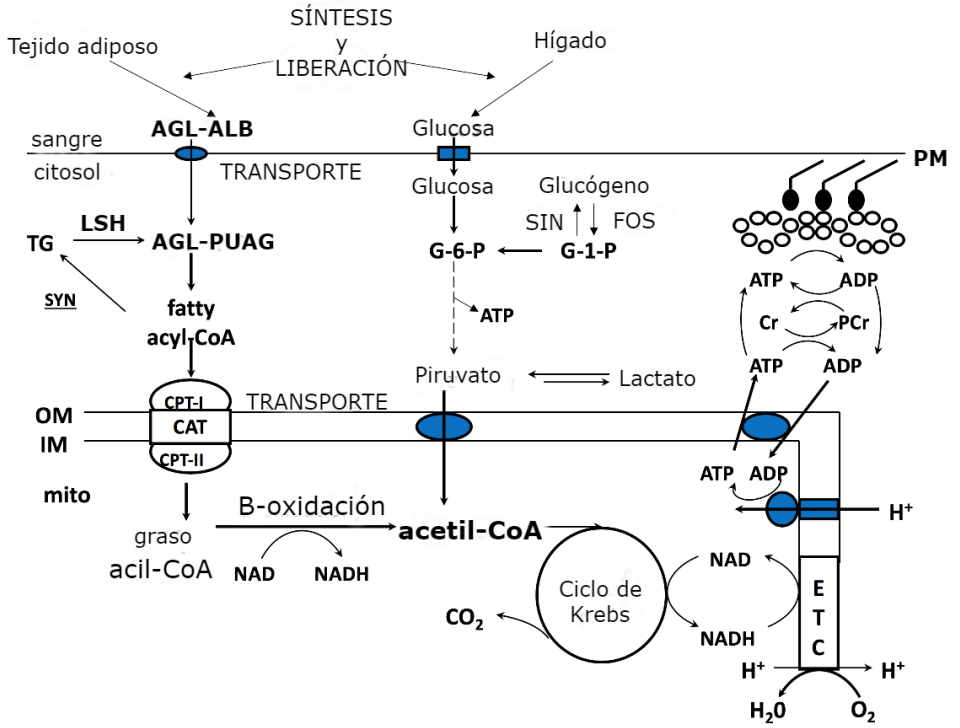


Fuente: adaptado de Romijn, Coyle, Sidossis, Gastaldelli, Horowitz, Endert y Wolfe, 1993, p. 385.

Figura 3. La oxidación de la grasa está en rojo. Se puede observar que la oxidación de la grasa aumenta de intensidad baja a moderada, pero disminuye con intensidades superiores. Esto es cierto para ambos sustratos grasos (derivados del plasma y derivados del músculo). Por otro lado, la oxidación de carbohidratos se incrementa al aumentar la intensidad del ejercicio, principalmente como resultado del uso de glucógeno muscular. Está claro que con altas intensidades (>75 % de VO_2 máx.) los carbohidratos son el combustible dominante.

Las funciones de los triglicéridos (TG) en el plasma y en los músculos son menos claras y continúan siendo objeto de un intenso debate. También hay un amplio debate sobre las razones por las cuales la oxidación de la grasa se limita durante el ejercicio de alta intensidad. Durante el ejercicio de alta intensidad, hay una mayor demanda de energía, pero no es posible usar la grasa, aunque esté disponible en abundancia. Se ha sugerido que el transporte de AG al músculo es el paso regulador, pero también hay pruebas sólidas de una función importante para la capacidad respiratoria mitocondrial. Otra teoría se desarrolló en torno a la regulación de la captación de AG en las mitocondrias.

Figura 4: Resumen esquemático de la producción de energía en el músculo esquelético



Fuente: adaptado de Spriet, 2002, p. 1478.

Figura 4. La glucosa y la grasa ingresan a la célula y se convierten en piruvato o acil-CoA graso en las mitocondrias, donde se convierten en acetil-CoA antes de ser utilizadas para la producción de ATP en el ciclo de Krebs. Cuando las mitocondrias no puedan absorber y usar el piruvato en el ciclo de Krebs lo suficientemente rápido, se formará lactato.

Los primeros estudios también se centraron en el metabolismo del lactato. Este producto intermedio del metabolismo de los carbohidratos se produce especialmente durante el ejercicio de alta intensidad. En la década de 1970, la teoría desarrolló que el ácido láctico estaba fuertemente relacionado con la fatiga. En los deportes, el lactato se convirtió en el parámetro sanguíneo más medido y a menudo se usó (y todavía se usa) para monitorear la intensidad del entrenamiento. Se pensó que el lactato se formaba como resultado de un suministro insuficiente de oxígeno en el músculo de trabajo. Sin embargo, ahora sabemos que el lactato no es la causa de la fatiga, es un gran combustible para el músculo y también se forma cuando hay presencia de oxígeno. El lactato es simplemente un producto del metabolismo de los carbohidratos que se forma cuando el nivel de glucólisis excede la capacidad de la actividad del ciclo tricarboxílico (TCA o de Krebs). La glucólisis se estimula durante el ejercicio de alta intensidad y permite la producción del adenosintrifosfato (ATP) necesario para mantener esa intensidad. Si la actividad del ciclo de Krebs no puede ir al ritmo de los altos niveles de glucólisis, el piruvato se acumulará y esto podría detener la glucólisis (a través de la inhibición por retroalimentación). Por supuesto, esto significa que la intensidad no puede mantenerse. Entonces, para evitar que el piruvato se acumule, se convierte en lactato.

Esto es algo bueno, y el hecho de que podamos formar lactato significa que: 1. los niveles de glucólisis pueden ser altos y podemos continuar generando energía; y 2. se previene la acumulación de piruvato. Así, mientras que el lactato (especialmente en el fútbol) aún se considera como algo que debe prevenirse, es simplemente un subproducto del metabolismo de los carbohidratos. Sería más problemático si los jugadores no pudieran producir lactato. La dieta también afecta la producción de lactato. Por ejemplo, si las concentraciones de glucógeno son bajas, la producción de lactato será baja, pero la capacidad de ejercicio también será menor. Entonces, aunque durante muchos años se pensó que el lactato era "algo malo", ahora consideramos al lactato como "algo bueno" y un buen combustible para el músculo de trabajo (Brooks, 1991, 2018).

> Aunque muchas preguntas siguen sin respuesta, a pesar de muchos años de investigación intensiva, es claro que los carbohidratos de la dieta son esenciales para un rendimiento óptimo. Igualmente, claro es que una alta capacidad de oxidación de lípidos en los músculos activos de un deportista de resistencia es un requisito para un rendimiento de resistencia óptimo. (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 12).

Hidratación

> En los años 80, hubo una serie de estudios que demostraron que la deshidratación podría reducir el rendimiento, y que la deshidratación extrema podría provocar golpe de calor y efectos adversos para la salud. Estos estudios pronto fueron seguidos por trabajos para optimizar la circulación de líquidos durante el ejercicio. Las bebidas deportivas aparecieron en las estanterías de las tiendas de deportes y los supermercados y se comercializaron para un número creciente de corredores de fondo y otros deportistas.
>
> Evidentemente, hubo una tendencia a beber cada vez más durante los eventos de resistencia, como lo demuestran las directrices y regulaciones de bebida de la IAAF (Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo) para los puntos de abastecimiento durante las carreras de maratón. En 1953, el manual de la IAAF para organizadores de carreras indicaba que los puntos de abastecimiento debían proporcionarse solo para carreras de maratón y solo en los kilómetros 15 y 30. Las directrices

de 2009 indican que el agua debe estar disponible al comienzo y al final de todos los eventos; para los eventos de hasta 10 km se debe proporcionar bebidas cada 2 o 3 km, y para eventos más largos se deben proporcionar estaciones de hidratación cada 5 km. Además, debe suministrarse agua a medio camino entre estas estaciones de hidratación. En la práctica, el número total de oportunidades para beber durante una maratón puede ser de 17 [¡frente a solo 2 en 1953!]. A lo largo de los años, los mensajes sobre el consumo de bebidas se confundieron un poco, y algunos corredores interpretaron las directrices como una directiva de beber tanto como sea posible. Sin embargo, [las directrices en realidad nunca establecieron esto], está claro que beber demasiada agua puede provocar hiponatremia [Hew-Butler et al., 2008] y, más recientemente, los consejos sobre el consumo de bebidas han enfatizado que beber excesivamente puede ser peligroso [American College of Sports et al., 2007; Baker y Jeukendrup, 2014; McDermott et al., 2017]. (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 13).

Micronutrientes

Los micronutrientes también han recibido cierta atención. Desde su descubrimiento, las vitaminas han sido en cierto modo sinónimo de buena salud, ya que estaba claro que la falta de estos nutrientes esenciales causaba enfermedades. Desde los años 40 y 50, se convirtió en una práctica común para los deportistas complementar su alimentación con vitaminas para tener un mejor rendimiento. [Las investigaciones se centraron principalmente en las poblaciones generales y las directrices tuvieron como objetivo prevenir las deficiencias]. Sin embargo, las investigaciones también indicaron de manera consistente que, mientras no hubiera deficiencias, la ingesta de vitaminas por encima de las cantidades diarias recomendadas no mejoraba el rendimiento. No obstante, el uso de vitaminas y minerales, y antioxidantes en particular, sigue siendo muy popular. Sin embargo, más recientemente, los estudios señalaron que grandes cantidades de antioxidantes en realidad podrían prevenir (o al menos reducir) las adaptaciones normales del entrenamiento. También ha quedado claro que grandes dosis de ciertas vitaminas y minerales pueden tener efectos perjudiciales para la salud. (Saltin y Jeukendrup, 2010, p. 13).

Por lo tanto, aunque las vitaminas y minerales sean necesarios, más no siempre es mejor y, a veces, más es peor.

1.1.4 Estudios futbolísticos

La ciencia llegó relativamente tarde al fútbol, y Tom Reilly (Universidad John Moores de Liverpool) fue sin duda uno de los pioneros. Algunos de los primeros estudios del fútbol fueron realizados por él y su equipo. En 1976, informaron que los jugadores de la primera división inglesa tuvieron aproximadamente 100 cambios en las actividades de juego durante un partido, y que cada actividad tuvo una duración media de 5 a 6 segundos. Reilly y Thomas también estimaron que, en promedio, la intensidad del juego en el partido fue de aproximadamente el 75 % del VO_2 máx. (Reilly y Thomas, 1979).

En la década de 1960, se demostró que la concentración de glucógeno muscular estaba relacionada con la fatiga. Una mayor ingesta de carbohidratos dio como resultado un aumento del glucógeno muscular y una mayor capacidad de resistencia. Se demostró que, durante un partido de fútbol, la concentración de glucógeno muscular disminuyó a niveles muy bajos al final del partido. En promedio, las concentraciones de glucógeno muscular fueron de 96 mmol/kg w. w., 32 mmol/kg w. w. en el entretiempo y de 9 mmol/kg w. w. al final. También se observó que, en algunos jugadores, el glucógeno muscular ya se encontraba muy bajo después de 45 minutos. Los jugadores que comenzaron el partido con un bajo nivel de glucógeno muscular (45 mmol/kg w. w.) casi habían agotado sus reservas al llegar al entretiempo. Otra observación importante fue que la concentración de glucógeno muscular estaba correlacionada con los parámetros de rendimiento al correr. Por ejemplo, los jugadores con las concentraciones más bajas de glucógeno muscular cubrían menos distancia. Lo que es más importante, pasaban menos tiempo completando carreras de alta intensidad (15 % frente a 27 % del tiempo total). (Bangsbo, 2014).

En 1982, Ira Jacobs y colegas realizaron biopsias musculares en 15 jugadores de Malmö (Jacobs, Westlin, Karlsson, Rasmusson, y Houghton, 1982). Midieron el glucógeno muscular y descubrieron que estas concentraciones disminuyeron a niveles muy bajos después de un partido real. Se tomaron biopsias musculares y se midió nuevamente el glucógeno muscular 24 horas después y 48 horas después. La principal conclusión fue que, incluso 48 horas después, las concentraciones de glucógeno muscular no habían vuelto a la normalidad. Esto sucedió a pesar de una ingesta relativamente alta de carbohidratos. Se podría especular que, incluso 72 horas después de un partido, el glucógeno no habría vuelto a las concentraciones normales, que es cuando los

jugadores deberían estar listos para jugar nuevamente en un programa de 2 partidos por semana.

Figura 5: Porcentaje (%) de glucógeno muscular en un programa de dos partidos por semana

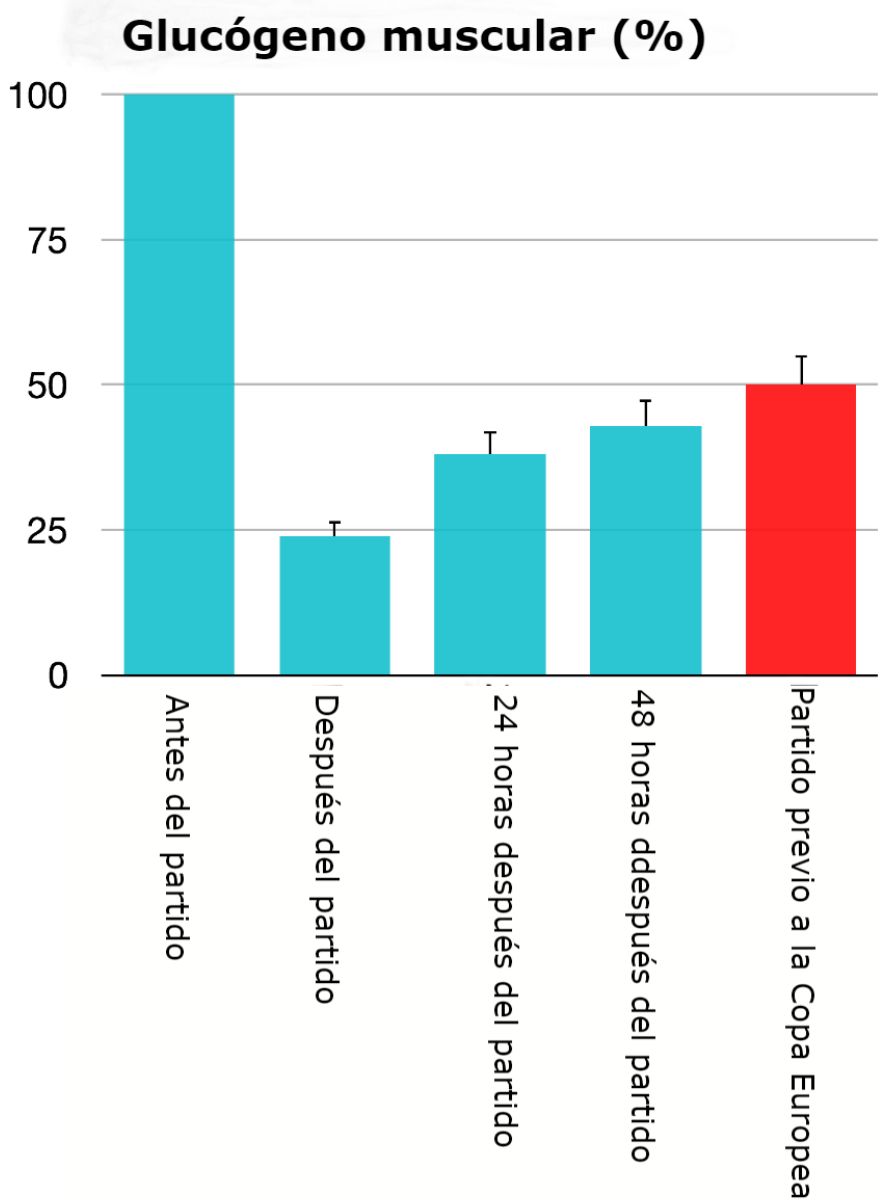


Figura 5. En azul, las mediciones de glucógeno muscular realizadas en un equipo de fútbol sueco. Los jugadores consumieron su dieta normal y esto no fue suficiente para restablecer el glucógeno muscular a los niveles previos al partido. En rojo, la concentración de glucógeno muscular ficticia en un partido de la Copa de Europa 4 días después del primer partido. Está claro que es poco probable que el glucógeno muscular se pueda restituir por completo ese día. Fuente: basado en Jacobs et al., 1982.

En la década de 1980, comenzaron a aparecer estudios que demostraban los beneficios de la ingesta de carbohidratos durante los ejercicios de resistencia. En estos estudios se informó sobre una capacidad de

resistencia consistentemente mayor, especialmente cuando la duración del ejercicio era superior a unas 2 horas.

Poco después se realizaron estudios en el fútbol. Se investigaron los efectos de la ingesta de carbohidratos y el rendimiento del jugador durante los partidos "en vivo". Por ejemplo, en un estudio (by Kirkendall, Foster, Dean, Grogan, y Thompson, 1988), 10 jugadores fueron filmados en video en dos ocasiones diferentes, separadas por un día. En cada partido, los jugadores bebieron ya sea una solución de carbohidratos o un placebo endulzado antes del partido y en el entretiempo. Los jugadores que bebieron la solución de carbohidratos corrieron aproximadamente una distancia 40 % mayor durante la segunda mitad del partido, en comparación con quienes consumieron la bebida con placebo. Curiosamente, un estudio similar, en el que los jugadores consumieron 0,5 l de una solución de glucosa al 7 % 10 minutos antes de un partido de práctica y el mismo volumen nuevamente en el entretiempo, informó sobre una reducción del 39 % en el uso de glucógeno muscular en comparación con los jugadores que bebieron un placebo endulzado (Leatt y Jacobs, 1989).

Como tema recurrente en este curso, es importante tener en cuenta que no es fácil medir el rendimiento en el fútbol. Hay muchos aspectos relacionados con el rendimiento y la mayoría de estos son difíciles de medir. Esto, a su vez, da como resultado una mayor variación, lo que significa que se vuelve más difícil detectar pequeñas diferencias. Tales diferencias, por pequeñas que sean, podrían ser importantes para el rendimiento futuro de un jugador y el rendimiento del equipo. Por lo tanto, alentamos a los investigadores a informar sobre la fiabilidad de sus mediciones para que la interpretación de los datos sea más significativa. Muchos estudios utilizan protocolos de ejercicio que son inadecuados, tienen poca fiabilidad o no tienen ninguna similitud con el rendimiento real en el fútbol. Es esencial que podamos leer de manera crítica los documentos de investigación para poder juzgarlos mejor e interpretar los datos con más precaución cuando sea necesario.