
Entrenamiento con baja disponibilidad de hidratos de carbono

PID_00252901

Noelia Bonfanti Hardt

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 1 hora



Índice

Introducción	5
1. Dieta rica en grasas y baja en carbohidratos (Low carb hight fat diet)	7
2. La dieta cetogénica	9
2.1. La evidencia científica	10
2.2. ¿Posibles riesgos para la salud?	12
3. Entrenamiento en ayunas	13
4. Protocolo training high-sleeping low	16
5. Otras posibles estrategias de entrenamiento low-carb	18
5.1. Entrenamiento prolongado sin ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio	18
5.2. No tomar hidratos de carbono durante el proceso de recuperación	18
Bibliografía	19

Introducción

Este material centrará su estudio en todas aquellas estrategias caracterizadas por reducir la disponibilidad de energía proveniente de los hidratos de carbono durante la realización de un esfuerzo físico, que pueden ser agrupadas bajo el nombre de “entrenamiento con baja disponibilidad de hidratos de carbono”. En general, su puesta en práctica en el mundo del entrenamiento deportivo persigue la meta final de mejorar el rendimiento en competición. No obstante, también pueden seleccionarse algunas de ellas con el objetivo de provocar la pérdida de grasa corporal, especialmente durante la preparación de competiciones importantes (por ejemplo: la pretemporada en deportes de equipo o la vuelta al entrenamiento después de períodos vacacionales o de recuperación de lesiones deportivas). En la figura 1 se observan las diferentes estrategias que pueden ponerse en práctica para llevar adelante este modelo de entrenamiento.

Figura 1. Diferentes estrategias de entrenamiento con baja disponibilidad de hidratos de carbono



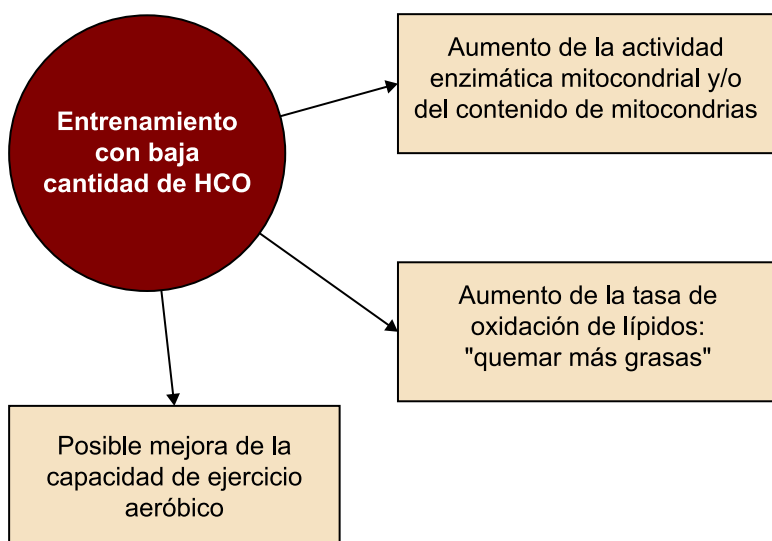
Fuente. Adaptado de www.mysportscience.com

Sea cual sea el caso, todas las estrategias incluyen la realización de una o varias sesiones de entrenamiento en condiciones de reducida disponibilidad de carbohidratos, con el fin de promover adaptaciones del organismo al entrenamiento realizado en ausencia de dicho sustrato energético. En general, con los diferentes protocolos se ha observado una respuesta aumentada al entrenamiento, regulada probablemente por una mayor activación de enzimas quinasas claves en la señalización celular (por ejemplo: AMPK, p38MAPK), de factores de transcripción (por ejemplo: p53, PPAR δ) y coactivadores de la transcripción (por ejemplo: PGC-1 α).

Es importante tener claro que dichos protocolos, cuando se realizan en búsqueda de una mejora del rendimiento, son especialmente aplicables en deportes de resistencia, los cuales agotan sus reservas de hidratos de carbono durante la competición y utilizan la oxidación de grasas en gran proporción como combustible energético. En el caso de que se pongan en práctica para reducir la masa grasa, podrían ser aplicados en cualquier deportista en etapas de preparación o pretemporada, pero teniendo en cuenta que el rendimiento específico y la intensidad de estas sesiones de entrenamiento se verán probablemente reducidos en forma significativa. No obstante, en todos los casos, las reservas de hidratos de carbono deberán reponerse inmediatamente antes de una competición importante.

La figura 2 muestra un resumen de los principales cambios que pueden producirse en sujetos entrenados bajo estas modalidades de entrenamiento de una competición importante.

Figura 2. Principales cambios producidos por entrenar en reducida disponibilidad de hidratos de carbono



Fuente. Adaptado de Hawley, 2011

A continuación, se hará una descripción de las diferentes estrategias que se han probado en diferentes estudios y situaciones, identificando sus principales características y el probable protocolo de ejecución.

1. Dieta rica en grasas y baja en carbohidratos (Low carb high fat diet)

Los deportistas tienen necesidades nutricionales específicas para su deporte, que difieren en cantidad y distribución respecto a la población normal. Entre dichos requerimientos aumentados, un consumo elevado de hidratos de carbono se vuelve fundamental, dado que estos son el combustible energético por excelencia para la práctica de casi todas las disciplinas y la obtención del máximo rendimiento deportivo.

Por lo tanto, no se debería llevar adelante, con independencia de cuál sea el objetivo, un protocolo de alimentación similar al que podría planificarse para la población general. Por ello, es muy importante diferenciar, en primer lugar, el protocolo de pérdida de grasa que implica un bajo consumo de carbohidratos, pero elevado en grasas, de la estrategia que aquí se describe, la cual persigue objetivos de rendimiento deportivo. De esta forma, mientras que la primera puede realizarse en forma prolongada con pacientes con sobrepeso-obesidad, la segunda podría utilizarse en deportistas durante breves períodos de preparación alejados de la competición, combinándola con otros períodos de adecuado consumo de carbohidratos.

Esta combinación de sesiones de entrenamiento con diferente disponibilidad de nutrientes se conoce bajo la denominación de periodización nutricional, que se basa en combinar períodos de entrenamiento con elevada disponibilidad de carbohidratos con otros períodos con reducida disponibilidad de este nutriente, persiguiendo cambios metabólicos que mejoren a largo plazo el rendimiento en competición.

El objetivo de estos protocolos en el mundo del deporte es incrementar la utilización de grasa durante el ejercicio, aspecto que podría mejorar el rendimiento en individuos entrenados, reduciendo el uso del glucógeno muscular como fuente de energía. En este sentido, el estudio de Stellingwerff y otros (2006) ha permitido observar que una dieta rica en grasas en período de entrenamiento durante 5 días, seguida de 1 día de recuperación de las reservas de hidratos de carbono, aumenta la tasa de oxidación de grasas de todo el organismo y disminuye la tasa de oxidación de los hidratos de carbono durante una sesión de ejercicio aeróbico. El mecanismo responsable de este cambio aún no se conoce del todo, pero involucraría una regulación positiva de las enzimas claves

participantes de las vías del metabolismo de las grasas y una regulación negativa de las enzimas del metabolismo de los hidratos de carbono, siempre en músculo esquelético.

Nota

Se debe tener en cuenta que la reducida disponibilidad fue evaluada en diferentes estudios durante un corto plazo y con un aporte de 2,5 g hidratos de carbono/kg de peso, que, traducidos a un peso corporal medio de 75 kg, indica un consumo de casi 190 g de hidratos de carbono o menos del 25 % de la energía total aportada por este nutriente. Este aspecto la diferencia notoriamente no solo de una dieta cetogénica (consumo inferior a 50 g de carbohidratos al día), sino también de la cantidad indicada en una dieta baja en carbohidratos para la población general (120-130 g). Por otra parte, el aporte de grasas es mayor al 60 % de la energía, pudiendo alcanzar incluso un 70 % de las kilocalorías totales de la dieta como grasa.

El incremento en la capacidad oxidativa de las grasas producido en el músculo después de tan solo 5 días de entrenamiento en reducida disponibilidad de hidratos de carbono persiste incluso después de recuperar en forma aguda las reservas de hidratos de carbono (ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio o supercompensación del glucógeno). Es decir, que el organismo se volvería menos dependiente del glucógeno muscular, siendo capaz de utilizar más grasas como fuente energética para contraerse a tiempos o intensidades en los que antes solo era capaz de hacerlo mediante el uso de carbohidratos. Es importante tener en cuenta que este resultado solo representaría un beneficio en aquellos deportes de larga duración, en el que el sistema aeróbico esté involucrado y las grasas sean una fuente de energía significativa. Sin embargo, no se han registrado cambios beneficiosos sobre el rendimiento en protocolos de resistencia y ultra resistencia.

Además, algunos estudios han detectado un deterioro del rendimiento cuando la intensidad del ejercicio debe elevarse, lo cual sería consecuencia de una regulación negativa del metabolismo oxidativo de los carbohidratos.

Es por ello que, actualmente, se considera la puesta en práctica de esta dieta durante breves períodos de tiempo (por ejemplo: 5 días), periodizando la ingesta de hidratos de carbono a lo largo de todo un ciclo de entrenamiento de acuerdo a las necesidades que exija cada tipo de entrenamiento y su duración. A su vez, es importante tener claro el objetivo de cada sesión, priorizando la ingesta de hidratos de carbono cuando se requiera obtener el máximo rendimiento posible en dicho entrenamiento pero, en cambio, planteando el bajo consumo de hidratos cuando se realicen sesiones que pretendan amplificar la respuesta adaptativa del músculo, aumentando la capacidad oxidativa de las grasas. Aún queda mucho por investigar en esta temática, pero queda cada vez más claro que la periodización nutricional para la ingesta de hidratos de carbono durante los entrenamientos parece ser el protocolo adecuado para optimizar el rendimiento deportivo en la competición.

2. La dieta cetogénica

La dieta cetogénica es un tipo de dieta **muy baja en hidratos de carbono** y muy rica en grasas, **normocalórica**, que permite alcanzar un estado de cetosis en el organismo.

Estos metabolitos pueden ser utilizados como sustratos energéticos y, por lo tanto, ser capaces de regenerar el ATP, lo que ocurre fisiológicamente durante el ayuno. Por lo tanto, a través de la dieta cetogénica, se persigue la estimulación de las acciones metabólicas propias del estado de ayuno, forzando al cuerpo a utilizar la grasa como fuente de energía. Este incremento en la utilización de las grasas en reemplazo de los hidratos de carbono, sumado al hecho de que la oxidación de estos últimos es mucho más veloz e irregular en comparación a las grasas y las proteínas (que se oxidan lentamente y en forma constante, sin aceleración), podría resultar en una mayor estabilidad fisiológica y menor deseo de ingesta de alimentos (disminución del apetito), conduciendo a una pérdida de grasa.

Aunque la metodología utilizada en las diferentes investigaciones científicas presenta algunas variaciones, la dieta cetogénica clásica utilizada para la pérdida de grasa (existen otros tipos desarrollados para el cuidado de los pacientes epilépticos) es una dieta muy rica en grasas (puede alcanzar cerca del 90 % de la energía ingerida dependiendo del requerimiento calórico), en su mayoría aportados por triglicéridos de cadena larga, con muy bajo contenido de hidratos de carbono y una cantidad adecuada de proteínas. En las primeras etapas de este tratamiento, se consumen alrededor de 50 g de hidratos de carbono por día (lo que representa un 10 % de una dieta tipo de 2.000 kcal) dejando “libre” la ingesta de grasas y proteínas, sin control de las kilocalorías. Como puede observarse, difiere significativamente del protocolo explicado en el apartado anterior (*low-carb high-fat*) para población deportista. Aún más, también se diferencia de la dieta baja en hidratos y rica en grasas aplicada en la población con sobrepeso-obesidad, ya que esta dieta permite el consumo de hasta 120-130 g de este nutriente al día, evitando la cetogénesis.

Los cambios metabólicos que ocurren con la ingesta de una dieta cetogénica, aunque no se limitan solo a estos, incluyen el estado de cetosis, la disminución de la glucosa sanguínea y la elevación de los niveles de ácidos grasos circulantes. Además, los cuerpos cetónicos productos de la beta-oxidación de las grasas representan principios energéticos alternativos para su oxidación en el ciclo de Krebs, lo cual incrementa la función mitocondrial.

La cetosis

es el término médico que se utiliza para definir un estado donde el cuerpo utiliza las grasas en lugar de los hidratos de carbono como combustible energético del organismo, oxidando los ácidos grasos a través de la beta-oxidación y dando lugar a la formación de los diferentes cuerpos cetónicos: acetoacetato, β -hidroxibutirato y acetona.

Nota

Esta dieta provocaría las adaptaciones mencionadas en el apartado anterior referente al protocolo *low-carb high-fat*, pero con el agregado de la producción de los cuerpos cetógenos antes mencionados.

2.1. La evidencia científica

El tópico del uso de la dieta cetogénica en el mundo del deporte se encuentra dentro de un debate científico actual de mucha controversia. La búsqueda bibliográfica de estudios científicos permite encontrar algunos trabajos específicos en deportes con categorías de peso como el realizado por Paoli y otros (2012) y Rhyu y Cho (2014), que proclaman, a través de sus conclusiones, el uso de esta dieta para la pérdida de peso corporal sin afectar por ello al rendimiento. Es decir, que se propone el uso de esta dieta para obtener el peso corporal deseado antes de una competición, evitando las prácticas comunes de deshidratación que ponen muchas veces en riesgo a este tipo de deportistas. Sin embargo, sus resultados deben ser considerados en forma aislada, prestando atención a la metodología utilizada y las conclusiones obtenidas.

Estudio Paoli y otros

El estudio realizado por Paoli y otros (2012) se llevó a cabo con gimnastas que llevaron una dieta cetogénica en comparación a otras gimnastas que realizaron un protocolo de dieta occidental. Los autores concluyeron que la práctica de la dieta cetogénica durante un período de 30 días redujo la grasa corporal sin afectar a la masa muscular, ni producir alteraciones en la fuerza, en comparación a la dieta clásica.

Sin embargo, varias cuestiones deben ser tenidas en cuenta en el análisis de este estudio:

- 1) En primer lugar, no se puede generalizar una práctica que fue probada tan solo en 8 gimnastas. Este número de sujetos no permite sacar conclusiones respecto a la población de gimnastas en general.
- 2) Por otra parte, la dieta “occidental” no recibió ningún tipo de control, pudiendo ser incluso hipercalórica, de ahí que no representara entonces un parámetro de control válido.
- 3) Por último, solo valoran una prueba de rendimiento de la fuerza, pero no hay datos respecto a los resultados de competición ni al rendimiento del entrenamiento global.

Estudio Rhyu y Cho

El estudio de Rhyu y Cho (2014) fue llevado a cabo con karatekas, practicantes de taekwondo. Los autores prescribieron una dieta cetogénica durante 3 semanas y evaluaron su influencia en la pérdida de peso, el rendimiento relacionado al estado aeróbico y ciertos marcadores de la inflamación, en comparación con una dieta no cetogénica.

En este caso, el número de sujetos fue más elevado que en el estudio de Paoli y otros (2012); los participantes eran veinte sujetos, aunque todos ellos practicantes de nivel colegial. Los resultados del estudio no mostraron diferencias en la pérdida de peso, ni en el porcentaje de masa grasa ni libre de grasa. Sin embargo, debido a que los sujetos que siguieron la dieta cetogénica terminaron un test de 2.000 m de velocidad en menor tiempo que el otro grupo, a la vez que experimentaron menor sensación de fatiga, los autores concluyeron que esta dieta podría mejorar la capacidad aeróbica de los karatekas, así como

su resistencia a la fatiga. Lamentablemente, un test de carrera de velocidad de 2.000 m no permite sacar ninguna conclusión respecto al rendimiento de un karateka.

Este estudio no dice nada acerca de unos beneficios reales de la dieta cetogénica, ya que la pérdida de peso buscada fue en realidad similar en ambos grupos. Por otra parte, un dato que no menciona el estudio y que es mucho más importante en un deporte de tan alto componente técnico-táctico, concentración y toma de decisiones en oposición a un rival, es una adecuada disponibilidad de glucosa cerebral, ya que su disminución afectará negativamente a todos los aspectos mencionados.

Pero, más allá de estos estudios aislados con un número de sujetos reducido y generalizaciones no sustentadas por los resultados obtenidos, se ha llevado a cabo recientemente un gran estudio en Australia bajo el mando de una de las personas referentes en el mundo internacional de la nutrición deportiva: Louis Burke. El estudio fue llevado a cabo con atletas olímpicos australianos en la preparatoria de los Juegos Olímpicos de Río 2016 y fue llamado Proyecto Supernova. Esta investigación desarrollada con 21 corredores de marcha olímpica comparó una dieta rica en hidratos de carbono frente a una dieta cetogénica (75-80 % de grasas, 15-20 % de proteínas y menos de 50 g/día de hidratos de carbono) frente a un plan nutricional con periodización de la disponibilidad de los hidratos de carbono (combinación de estrategias de baja disponibilidad con alta disponibilidad en distintos entrenamientos).

Los resultados de este estudio, metodológicamente correcto, mostraron que no existieron beneficios de la dieta cetogénica en comparación a las otras dos dietas. Además, el rendimiento en una prueba de alta intensidad no mejoró después de las tres semanas con la dieta cetogénica, mientras que sí lo hizo en los otros dos grupos. Por lo tanto, al menos hasta el momento, se puede concluir que, si se requiere competir o entrenar a altas intensidades, la dieta cetogénica no es una estrategia recomendada para tal fin.

Aunque no es objetivo del estudio de este material, cabe aquí realizar un breve comentario respecto a su uso específico para la pérdida de grasa corporal en la población general. En este sentido, los principales resultados de todos los estudios realizados con dieta cetogénica por un plazo de doce meses o más hallaron una mayor reducción del peso corporal y del tejido adiposo que en pacientes sometidos a una dieta hipocalórica baja en grasas. Además, la dieta cetogénica produjo una mayor disminución de los triglicéridos sanguíneos y de la presión arterial que la dieta baja en grasas. No obstante, la dieta cetogénica produjo un aumento significativamente superior del LDL-C y una disminución significativamente mayor del HDL-C. Es importante mencionar que prácticamente todos los estudios que valoraron esta dieta en población gene-

ral no hicieron referencia a la práctica de ningún tipo de ejercicio físico o, por lo menos, no lo mencionaron en su publicación. Por lo tanto, podría decirse que actualmente no existe evidencia científica suficiente para indicar un plan de entrenamiento específico acorde a la dieta cetogénica diseñada con el fin de la pérdida de grasa corporal. Por otra parte, la mayoría de los estudios científicos conducidos sobre este tema remarcan una preocupación generalizada acerca de la prescripción de esta dieta en la práctica diaria debido a la dificultad de adherencia de los deportistas o incluso de la población con sobrepeso a la misma, que en la mayoría de los casos fue muy baja.

Se debe tener en cuenta que implica impactantes cambios en el estilo de vida del sujeto, así como de su estado psicológico y de sus relaciones sociales que, para la mayoría de las personas y en gran parte del día, giran en torno a la comida.

2.2. ¿Posibles riesgos para la salud?

Aún no se cuenta con suficiente evidencia científica disponible que permita sacar conclusiones sobre ciertos marcadores patológicos muy importantes a controlar en cualquier tratamiento nutricional. Desconocer los efectos de la dieta sobre dichos marcadores no quiere decir que estos sufran sí o sí cambios perjudiciales para la persona, pero tampoco permiten al profesional estar seguro de que la práctica de una dieta cetogénica no aumentará el riesgo de los mismos, ya que existe probabilidad fisiológica de que esto ocurra. Entre ellos, se debería considerar especialmente la posibilidad de infiltración lipídica en el hígado, posibles cambios en la función endotelial, el desarrollo de eventos cardiovasculares como infarto de miocardio, isquemias, etc., posibles modificaciones en la función renal, mayor probabilidad de litiasis renal y la dificultad y falta de evidencia para prescribir ejercicio físico, así como el control de la glucemia, entre otros. Otros potenciales efectos colaterales de esta dieta se encuentran relacionados al rendimiento físico durante el ejercicio, siendo mayor el riesgo de deshidratación e hipoglucemia durante su práctica.

Nota

Adicionalmente, una dieta cetogénica puede inducir disturbios metabólicos, causar acidosis metabólica, hiperlipoproteïnemia, deficiencia de vitaminas y elementos trazas (especialmente zinc, selenio y cobre), hiperuricemia y leucopenia.

3. Entrenamiento en ayunas

El entrenamiento en ayunas puede ser realizado tanto en población general como deportista con dos principales objetivos:

- La pérdida de peso graso.
- La mejora del rendimiento deportivo en competición

Siempre y cuando se realice en forma controlada y en las condiciones óptimas, podría estimular la pérdida de peso graso u optimizar el rendimiento deportivo. Existe sólida evidencia que permite afirmar que el entrenamiento en ayunas activa la oxidación de lípidos, observando una respuesta aumentada al entrenamiento probablemente regulada por la activación de quinasas claves que se han mencionado en la introducción de este material. Por decirlo de una manera coloquial, se desarrolla un mayor número de mitocondrias, más grandes y más funcionales, haciendo la oxidación lipídica más fácil, veloz y de mayor magnitud. De esta forma, cada vez que el sujeto entrena en ayunas, puede ir entrenando su capacidad de utilización de las grasas en reemplazo de los hidratos de carbono, a intensidades en las que antes solo era capaz de utilizar los segundos. No obstante, es preciso considerar el nivel de carga de glucógeno muscular previo al ejercicio en ayunas ya que, si existen reservas musculares de carbohidratos, el organismo utilizará todos o parte de ellos para provocar la contracción muscular y los efectos perseguidos con este protocolo no podrán obtenerse o, en todo caso, se conseguirán en menor medida.

Del mismo modo, la intensidad del ejercicio es primordial, debiendo ser baja a moderada, ya que de ella dependerá una correcta estimulación de la oxidación lipídica, reduciendo la demanda de glucosa para realizar las contracciones musculares, lo que permitirá, a su vez, mantener la glucemia estable al controlarla desde una moderada gluconeogénesis hepática.

Con el objetivo de pérdida de grasa corporal, las sesiones de entrenamiento en ayunas pueden comenzar a realizarse en forma progresiva, partiendo de 1-2 veces por semana, valorando las percepciones del sujeto, su grado de fatiga y su capacidad de ejercicio. A medida que el sujeto entrena de esta forma, pueden llegar a realizarse todas las sesiones de ejercicio diarias que se hagan por la mañana, en ayunas, produciendo cada vez mayor activación de la oxidación de lípidos. En deportistas en búsqueda de la mejora del rendimiento en competición a través de un incremento de la oxidación de grasas, es importante

combinar estas estrategias con otras sesiones de entrenamiento específicas con adecuada disponibilidad de hidratos de carbono, para mantener la capacidad oxidativa de los mismos en forma óptima.

Siempre se debe tener en cuenta el nivel de entrenamiento del sujeto, ya que no es lo mismo que lo haga una persona entrenada que no entrenada. Por ello, se debe “entrenar” a las personas para realizarlo, tanto física como mentalmente. Quienes nunca realizaron ejercicio no deberían comenzar a hacerlo en ayunas porque agotarán rápidamente sus reservas de hidratos de carbono (a menor nivel de entrenamiento, mayor es la utilización de carbohidratos para el mismo ejercicio). Las personas no entrenadas alcanzan una intensidad de ejercicio muy elevada con actividades normalmente consideradas de baja-moderada intensidad. Incluso caminando podrán depender de la oxidación de hidratos de carbono, y si el glucógeno hepático se agotó durante la noche y la gluconeogénesis no es suficiente para compensar la falta, puede ocurrir una hipoglucemia.

La práctica “óptima” de esta estrategia no se conoce aún del todo; puede ser necesaria la toma de cafeína, proteínas y/o enjuagues bucales con hidratos de carbono antes y/o durante el entrenamiento. Estas prácticas podrían ayudar a atenuar la reducida intensidad de ejercicio que se observa normalmente con este tipo de entrenamiento. A su vez, la ingesta proteica podría también prevenir la ruptura que ocurre como consecuencia de la demanda de sustratos gluconeogénicos y, a su vez, mantener una óptima función del sistema inmune. Por ello, se podrá indicar la ingesta de cafeína (sin leche, sin azúcar, sin miel y sin edulcorante) y, si la persona pide consumir algún alimento sólido, podría ingerir alimentos con proteínas, sin grasas y sin hidratos de carbono.

Se debe considerar realizar esta práctica en función del doble objetivo que puede tener: si se pretende mejorar el rendimiento deportivo sin necesidad de variar la composición corporal, es ideal para trabajar con aquellos deportistas de resistencia, como una estrategia más dentro de las que se comentaron anteriormente. En cambio, para producir la pérdida de peso graso, puede ser utilizada en cualquier deportista, cuidando de que el tipo de ejercicio que se realice en ayunas se encuentre dentro de los indicados.

Nota

No debe realizarse para sesiones cuyo objetivo sea la máxima producción de estímulos específicos desde el entrenamiento. Un error muy común de los deportistas es realizar entrenamientos específicos de su deporte en ayunas con el fin de bajar de peso. Por ejemplo, jugadores de fútbol, baloncesto o rugby que juegan partidos en entrenamientos sin haber desayunado.

Este tipo de ejercicios de larga duración y carácter interválico utiliza vías anaeróbicas dependientes de la creatina –y su regeneración dependiente de carbohidratos– y de los carbohidratos, así como vías aeróbicas oxidativas también dependientes de carbohidratos y, en último lugar, de las grasas. Además, al entrenar en ayunas la glucosa no estará disponible en el cerebro como en condiciones post-ingesta, lo que provocará fatiga mental y una alteración de las

habilidades técnico-tácticas. Por lo tanto, el entrenamiento no estará estimulando la síntesis de enzimas oxidativas de los lípidos, ni la función mitocondrial, pero tampoco estará cumpliendo con los objetivos de entrenamiento.

¿Qué entrenamientos se pueden realizar en ayunas?

Se podrán realizar sesiones de entrenamiento de intensidad constante baja a moderada, en forma continua. Se recomienda comenzar por períodos cortos de prueba hasta alcanzar un máximo de 1 h de duración. Se podrá incrementar la intensidad del ejercicio en forma progresiva a medida que el sujeto adquiera mayor capacidad de entrenamiento, ya que podría irse viendo estimulada la oxidación de lípidos a intensidades que antes solo se oxidaban hidratos de carbono. En sujetos previamente entrenados, o que ya vienen realizando ejercicios en ayunas por su cuenta de aproximadamente 1 h de duración, podría llegar a extenderse su práctica hasta un máximo de 2 horas, considerando y evaluando cada caso en particular. No parece existir por el momento un máximo establecido, aunque no se recomienda superar las 2 horas para evitar la hipoglucemia y/o una excesiva oxidación proteica, al menos hasta que la ciencia no fundamente lo contrario.

¿Qué entrenamientos no se pueden realizar en ayunas?

No se deben realizar ejercicios que demanden energía en forma acelerada, la cual deberá provenir de la oxidación de hidratos de carbono, ya sea por vía aeróbica como anaeróbica. Por ejemplo, se deben evitar ejercicios de alta intensidad interválicos, como todos los tipos de HIIT (*high intensity intervallic training*) y cualquier otro ejercicio que deba realizarse a alta intensidad durante un período prolongado. También deberán evitarse entrenamientos de fuerza no planificados para la pérdida de peso, ni entrenamiento funcional. Y tampoco deben practicarse deportes de equipo o de raqueta, los cuales se caracterizan por un patrón de ejercicio de alta intensidad en forma intermitente, que depende casi exclusivamente de los hidratos de carbono como sustrato energético.

¿Deben ser en ayuno total o puedo tomar algún alimento?

Tan solo 20 g de hidratos de carbono (¡no de alimento!), como por ejemplo un plátano de 100 g, parecen limitar la oxidación de grasas, desviando la ruta metabólica hacia la obtención de energía desde los hidratos de carbono, ya que la presencia de estos en sangre limita la liberación de ácidos grasos desde el tejido adiposo.

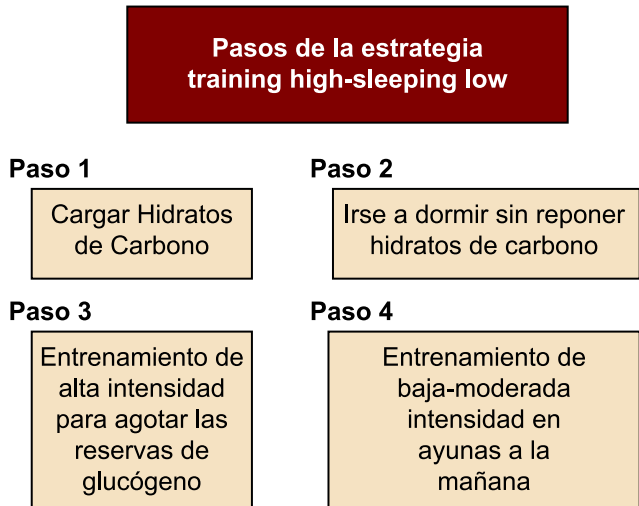
Por lo tanto, no se recomienda aquí tomar ningún alimento rico en hidratos de carbono y, preferentemente, ningún alimento de sabor dulce, aunque sea un edulcorante no nutritivo, para evitar un posible estímulo de la insulina sin presencia de carbohidratos, lo que en algunos sujetos podría favorecer una hipoglucemia reactiva durante el ejercicio.

4. Protocolo training high-sleeping low

Este protocolo puede traducirse al español algo así como entrenar con elevada disponibilidad de hidratos de carbono e irse a dormir sin recuperar el glucógeno.

Originalmente, en el estudio de Hansen y otros (2005) se había planteado la realización de dos sesiones de entrenamiento en el mismo día, en la cual solo la segunda sesión del día se realizaba con baja disponibilidad de hidratos de carbono. Al hacer esto, surgió el problema de que la intensidad de entrenamiento máxima de cada sujeto en la segunda sesión se reducía notablemente al ser comenzada con baja disponibilidad de hidratos, en comparación a cuando se recuperaba correctamente el glucógeno muscular entre sesiones. Dado que este resultado era muy negativo para la preparación de los deportistas (especialmente de élite), ya que los trabajos de alta intensidad son un componente crítico de cualquier planificación de entrenamiento, se planteó el protocolo actual, que comienza por una sesión de entrenamiento de alta intensidad realizada por la tarde con alta disponibilidad de glucógeno (habiendo el sujeto comido carbohidratos durante las comidas previas al mismo). Al finalizar, el deportista se debe ir a la cama sin reponer carbohidratos (debe realizar todas las comidas posteriores sin el aporte de este nutriente). A la mañana siguiente, debe realizar una segunda sesión de entrenamiento de intensidad baja-moderada en estado de ayunas. Al finalizar, debe volver a comer hidratos para comenzar el proceso de recuperación hasta el siguiente entrenamiento. Este protocolo se desarrolló con el fin de prolongar la duración de la baja disponibilidad de hidratos de carbono y mejorar y prolongar el tiempo de activación transcripcional de genes metabólicos y sus proteínas blanco, permitiendo conservar al mismo tiempo el estímulo del entrenamiento en los músculos ejercitados. Al retrasar la ingesta de hidratos de carbono hasta el día siguiente, se extiende la cantidad de tiempo que el deportista pasa sin recuperar el glucógeno. Esta situación parece mejorar el proceso de adaptación al ejercicio inducido por la dieta, retrasando la re-síntesis de glucógeno muscular y activando diferentes vías de señalización metabólica implicadas en la biogénesis mitocondrial y el metabolismo de los lípidos. La figura 3 muestra un resumen gráfico de los pasos a seguir en esta estrategia.

Figura 3. Resumen de la estrategia training high-sleeping low



Fuente. Elaboración propia

5. Otras posibles estrategias de entrenamiento low-carb

5.1. Entrenamiento prolongado sin ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio

Se trata de realizar entrenamientos de duración prolongada, durante varias horas, sin ingerir ninguna fuente de hidratos de carbono durante el ejercicio. Al iniciar el ejercicio, las reservas de glucógeno muscular y hepático deben estar en un estado fisiológicamente completo. No obstante, a medida que el ejercicio avanza y estas reservas no se van recuperando durante el esfuerzo, terminan agotándose, haciendo más complicado mantener la misma intensidad del ejercicio. Esta situación ocasiona un estrés adicional, lo cual provoca una dependencia de la oxidación de grasas; esto puede inducir también las adaptaciones buscadas con los otros protocolos bajos en hidratos de carbono, mejorando la capacidad del organismo de oxidar las grasas. Sin embargo, la intensidad del ejercicio se verá reducida y, en consecuencia, el rendimiento se verá deteriorado respecto a una sesión con reposición de carbohidratos.

Por ello, este método debería utilizarse solo cuando la calidad de la sesión de entrenamiento no es un objetivo principal.

5.2. No tomar hidratos de carbono durante el proceso de recuperación

Los deportistas normalmente son aconsejados a tomar carbohidratos inmediatamente después del ejercicio para potenciar la recuperación de las reservas de glucógeno muscular y hepático, lo que permite acelerar y mejorar el proceso de recuperación post-ejercicio. No obstante, podría evitarse el consumo de este nutriente durante 1 a 2 horas después de un esfuerzo físico que haya implicado su uso, permitiendo de esta manera mayor capacidad de oxidación lipídica en forma posterior al ejercicio, ya que el metabolismo se mantiene aumentado en las primeras horas de reposo después de un esfuerzo y, al no consumir hidratos en este momento, pero haber vaciado sus reservas durante el esfuerzo, el organismo se verá obligado a oxidar los lípidos. Se debe tener en cuenta que esta estrategia puede ser utilizada solo cuando no sea precisa una recuperación rápida, y podría ser indicada en aquellos sujetos que están realizando sesiones de ejercicio específicas para la pérdida de grasa corporal.

Bibliografía

Accurso, A.; Bernstein, R. K.; Dahlqvist, A.; Draznin, B.; Feinman, R. D.; Fine, E. J.; Vernon, M. C. y otros (2008, abril). "Dietary carbohydrate restriction in type 2 diabetes mellitus and metabolic syndrome: time for a critical appraisal". *Nutrition & Metabolism* (núm. 5, pág. 9).

Astrup, A.; Meinert Larsen, T.; Harper A. (2004). "Atkins and other low-carbohydrate diets: hoax or an effective tool for weight loss?". *Lancet* (núm. 364, págs. 897-899).

Bartlett, J. D.; Hawley, J. A.; Morton, J. P. (2015). "Carbohydrate availability and exercise training adaptation: too much of a good thing?". *European journal of sport science*(vol. 1, núm. 15, págs. 3-12).

Bueno, N. B.; De Melo, I. S. V.; De Oliveira, S. L.; Da Rocha Ataíde, T. (2013). "Very-low-carbohydrate ketogenic diet v. low-fat diet for long-term weight loss: a meta-analysis of randomised controlled trials". *The British Journal of Nutrition*(vol. 7, núm. 110, págs. 1.178–1.787).

Burke, L. M. (2015). "Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance: Did We Call the 'Nail in the Coffin' Too Soon?". *Sports Medicine* (núm. 45, supl. 1, págs. 33-49). Auckland, NZ. <<http://doi.org/10.1007/s40279-015-0393-9>>

Burke, L. M.; Ross, M. L.; Garvican#Lewis, L. A.; Welvaert, M.; Heikura, I. A.; Forbes, S. G.; Hawley, J. A. y otros (2017). "Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers". *The Journal of physiology*(vol. 9, núm. 595, págs. 2.785-2.807).

Carey, A. L.; Staudacher, H. M.; Cummings, N. K.; Stepto, N. K.; Nikolopoulos, V.; Burke, L. M.; Hawley, J. A. (2001). "Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise". *Journal of Applied Physiology*(vol. 1, núm. 91, págs. 115-122).

Chang, C. K.; Borer, K.; Lin, P. J. (2017). "Low-Carbohydrate-High-Fat Diet: Can it Help Exercise Performance?". *Journal of human kinetics*(vol. 1, núm. 56, págs. 81-92).

Hansen, A. K.; Fischer, C. P.; Plomgaard, P.; Anderson, J. L.; Saltin, B.; Pedersen, B. K. (2005). "Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily". *J Appl Physiol* (núm. 98, págs. 93-99).

Hargreaves, M. (2005). "Metabolic Factors in Fatigue". *Sports Science Exchange*(núm. 98, vol. 3, pág. 18).

Hartman, A. L.; Vining, P. G. (2007). "Clinical aspects of ketogenic diet (Critical review)". *Epilepsia*(vol. 1, núm. 48, págs. 31-42).

Hawley, J. A.; Maughan, R. J.; Hargreaves, M. (2015). "Exercise metabolism: Historical perspective". *Cell Metab* (núm. 22, págs. 12-17).

Hawley, J. A.; Tipton, K. D.; Millard-Stafford, M. L. (2006). "Promoting training adaptations through nutritional interventions". *Journal of Sports Sciences*(vol. 7, núm. 24, págs. 709-721).

Hawley, J. A.; Lecky, J. J. (2015). "Carbohydrate dependence during prolonged, intense endurance exercise". *Sports Med* (vol. 1, núm. 45, págs. S5-S12).

Hulston, C. J.; Venables, M. C.; Mann, C. H.; Martin, C.; Philp, A.; Baar, K.; Jeukendrup, A. E. (2010). "Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists". *Medicine and science in sports and exercise*(vol. 11, núm. 42, págs. 2.046-2.055).

Kossoff, E. H.; Hartman, A. L. (2012). "Ketogenic diets: new advances for metabolism-based therapies". *Curr Opin Neurol.* (vol. 2, núm. 25, págs. 173-178).

Kossoff, E. H. (2008). "International consensus statement on clinical implementation of the ketogenic diet: agreement, flexibility, and controversy". *Epilepsia*(núm. 49, supl. 8, págs. 11-13).

Lambruschini, N.; Gutiérrez A. (2012). *Dieta cetogénica. Aspectos clínicos. Aplicación dietética*. Madrid: Spanish Publishers Associates S. L.

McArdle, W. D.; Katch, F. I.; Katch, V. L. (2015). *Fisiología del Ejercicio: Nutrición, Rendimiento y Salud*. Barcelona: Wolters Kluwer - Lippincott Williams & Wilkins.

Paoli, A.; Grimaldi, K.; D'Agostino, D.; Cenci, L.; Moro, T.; Bianco, A.; Palma, A. (2012). "Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts". *Journal of the International Society of Sports Nutrition*(vol. 1, núm. 9, pág. 34).

Pethick, D. W.; Lindsay, D. B. (1982). "Metabolism of ketone bodies in pregnant sheep". *Br J Nutr.* (núm. 48, págs. 549-563).

Rhyu, H.-S.; Cho, S.-Y. (2014). "The effect of weight loss by ketogenic diet on the body composition, performance-related physical fitness factors and cytokines of Taekwondo athletes". *Journal of Exercise Rehabilitation*(vol. 5, núm. 10, págs. 326-331).

Rhyu, H.-S.; Cho, S.-Y.; Roh, H.-T. (2014). "The effects of ketogenic diet on oxidative stress and antioxidative capacity markers of Taekwondo athletes". *Journal of Exercise Rehabilitation*(vol. 6, núm. 10, págs. 362-366).

Sackner-Bernstein, J.; Kanter, D.; Kaul, S. (2015). "Dietary Intervention for Overweight and Obese Adults: Comparison of Low-Carbohydrate and Low-Fat Diets. A Meta-Analysis". *PLoS One*(vol. 10, núm. 10, e0139817).

Schoenfeld, B. J.; Aragon, A. A.; Wilborn, C. D.; Krieger, J. W.; Sonmez, G. T. (2014). "Body composition changes associated with fasted versus non-fasted aerobic exercise". *Journal of the International Society of Sports Nutrition*(vol. 1, núm. 11, pág. 54).

Sinha, S. R.; Kossoff, E. H. (2005). "The ketogenic diet". *The Neurologist*(vol. 3, núm. 11, págs. 161-170).

Spriet, L. L. (2011). "Metabolic regulation of fat use during exercise and in recovery". *En: Sports Nutrition: More Than Just Calories-Triggers for Adaptation* (vol. 69, págs. 39-58). Karger Publishers.

Stellingwerff, T.; Cox, G. R. (2014, enero). "Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations". *Appl Physiol Nutr Metab*(núm. 14, págs. 1-14).

Stellingwerff, T.; Spriet, L. L.; Watt, M. J.; Kimber, N. E.; Hargreaves, M.; Hawley, J. A.; Burke, L. M. (2006). "Decreased PDH activation and glycogenolysis during exercise following fat adaptation with carbohydrate restoration". *Am J Physiol Endocrinol Metab* (núm. 290, págs. E380-E388).

Volek, J. S.; Noakes, T.; Phinney, S. D. (2015). "Rethinking fat as a fuel for endurance exercise". *European journal of sport science*(vol. 1, núm. 15, págs. 13-20).

Winnick, J. J.; Davis, J. M.; Welsh, R. S.; Carmichael, M. D.; Murphy, E. A.; Blackmon, J. A. (2005). "Carbohydrates feedings during team sport exercise preserve physical and CNS function". *Medicine and Science in Sports and Exercise*(vol. 2, núm. 37, págs. 306-315).

Yeo, W. K.; Paton, C. D.; Garnham, A. P.; Burke, L. M.; Carey, A. L.; Hawley, J. A. (2008). "Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens". *J Appl Physiol* (núm. 105, págs. 1.462-1.470).

Zajac, A.; Poprzecki, S.; Maszczyk, A.; Czuba, M.; Michalczyk, M.; Zydek, G. (2014). "The effects of a ketogenic diet on exercise metabolism and physical performance in off-road cyclists". *Nutrie*.