

UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO

Facultad de Farmacia

Nutrición Humana y Dietética

Análisis de las ventajas y desventajas de la dieta cetogénica frente a la dieta basada en hidratos de carbono en el rendimiento deportivo en tres disciplinas deportivas, en función del sistema energético predominante

Adriana de Prado

Tutora

MIREN ORIVE

Junio, 2022

ÍNDICE

<u>1.Resumen:</u> Abreviaturas, resumen y palabras clave.....	3
<u>2.Introducción:</u>	1-5
1.1 Introducción a la dieta cetogénica	
1.2 Dieta cetogénica y cuerpos cetónicos	
1.3 Principios para llevar a cabo la dieta cetogénica	
1.4 Sistemas energéticos	
<u>3.Objetivos:</u>	6
<u>4.Metodología:</u>	6-7
<u>5.Desarrollo:</u>	7-17
Análisis de los estudios	
Análisis del estudio en gimnastas artísticas	
Análisis del estudio en deporte de HITT	
Análisis del estudio de ciclistas todoterreno	
<u>6.Conclusión</u>	18-23
<u>7.Bibliografía:</u>	24-25

ABREVIATURAS

HC: Hidratos de carbono	FFA: Ácidos grasos libres
CK: dieta cetogénica	RER: Tasa de intercambio respiratorio
HD: Dieta mixta	FC: Frecuencia Cardíaca:
ATP: Adenosin trifosfato	VO2: volumen de oxígeno
HSL: Lipasa sensible a las hormonas	LA: Lactato
BHB: Beta-hidroxibutirato	LDH: Lactato deshidrogenasa:
GXT: Pruebas de ejercicio gradual	VO2max: Volumen de oxígeno máximo
HIIT(IFT): Prueba de condición física intermitente o	LT: Umbral de lactato
TTE: Tiempo total hasta el agotamiento	RPE: Índice de esfuerzo percibido

RESUMEN:

El trabajo de fin de grado, ha tenido como objetivo analizar las posibles ventajas y desventajas de una dieta cetogénica y una dieta alta en hidratos de carbono en el rendimiento deportivo en tres disciplinas diferentes. A través de tres estudios, se ha valorado en qué disciplina puede ser más beneficiosa una u otra dieta. El primer estudio se ha realizado en gimnastas artísticas donde se ha visto que el tipo de dieta no influye en el rendimiento de fuerza y de potencia pero sí que permite una pérdida de grasa corporal con la dieta cetogénica.

El segundo estudio valorado, ha sido en el deporte de HIIT, donde tampoco se observó un peor rendimiento en una u otra dieta debido a ciertas adaptaciones fisiológicas, a pesar de que también permitió perder peso en los sujetos que realizaban la dieta cetogénica. En cuanto a los ciclistas, cuyo sistema energético predominante era el aeróbico, sí que se apreciaron mejoras en el rendimiento, permitiendo a los atletas realizar distancias más largas retrasando la fatiga. Sin embargo, en intensidades más altas, resultó ser mejor la dieta basada en hidratos de carbono por su mayor eficacia para obtener energía de forma rápida.

A pesar de las ventajas y desventajas de cada una de las dietas, una posible alternativa es la combinación de las dos dietas en función de las necesidades teniendo en cuenta el deporte que se practica y de las necesidades individuales.

PALABRAS CLAVE: Dieta cetogénica, dieta basada en hidratos de carbono, Cuerpos cetónicos, Ceto-Adaptación

1.Introducción

1.1 Introducción a la dieta cetogénica y dieta alta en hidratos de carbono

Hace unos 10 mil años,(1) el consumo de hidratos de carbono (HC) en las poblaciones era mínimo, contaban con las grasas y las proteínas como fuentes fundamentales de energía. No fue hasta el nacimiento de la agricultura,(2) que tuvo lugar durante el neolítico hace cerca de 8 mil años, cuando los HC pasaron a ser una fuente primordial en la alimentación, además de un nutriente muy accesible. Desde entonces, tanto en la población general como en los deportistas profesionales y aficionados, se recomienda un consumo muy elevado de HC en la dieta. (1)

Desde los estudios que se hicieron en el año 1920, (3)en los que se comprobó que cuando bajaba la glucosa en sangre el rendimiento descendía, la nutrición deportiva se centró en las dietas altas HC para mejorar el rendimiento en el deporte. Entendiendo como rendimiento (1) una mejora de las capacidades físicas, es decir, retraso en la aparición de la fatiga, pérdida de peso y/o grasa en personas y/o disciplinas que lo requieran, entre otras que mencionaré más adelante.

Esta creencia se ha basado en cierta parte por la idea desarrollada por Krogh y Lindhard (3) donde se constató que los ejercicios de alta intensidad se mantienen mejor con altas tasas de oxidación de HC.

Posteriormente, en Suecia a finales de los años 60, el grupo del Dr Bergstrom (1) publicó un estudio en el que observó, mediante biopsias musculares, que existía una relación directamente proporcional entre la cantidad de glucógeno presente en los músculos y la capacidad de duración de ejercicio físico. A partir de estos estudios, la nutrición deportiva se centró en aumentar el HC, tanto antes de los entrenamientos como después de ellos así como en las competiciones. (4)

Este enfoque de dieta basada en los HC (5) que a día de hoy se sigue llevando en los deportistas, consiste en ingerir elevadas cantidades de estos en todas las comidas. Estas dietas se basan en una ingesta calórica diaria entre el 50-70% proveniente de los HC. En cuanto a los pre y post e intra-entrenamientos se debe ingerir alimentos altos en HC, lo que contribuye a mantener los niveles de glucosa sanguínea. Además, conviene evitar comidas ricas en grasas y proteínas puesto que su digestión es lenta y pueden causar trastornos intestinales.

Por un lado, ese HC ingerido será acumulado en el hígado en forma de glucógeno, que aportará la principal fuente de glucosa sanguínea, y por otro lado será acumulado como glucógeno muscular que es esencial para realizar actividad física.

De esta manera se tendrán las reservas de glucosa del hígado y del músculo llenas, aportando la energía necesaria. (6)

Sin embargo, más recientemente, el Dr Phinney en Norteamérica (1) ha diseñado y publicado estudios de larga duración, controlados, donde se ha estudiado el efecto de una dieta baja en hidratos de carbono sobre el rendimiento deportivo. Parece que alterar el suministro de sustrato en el ejercicio, cambiando los HC por un consumo de grasa, puede modificar la utilización del mismo en el entrenamiento, produciendo una mayor tasa de oxidación de grasa que de glucosa.

A partir de entonces, se ha continuado haciendo estudios sobre nutrición y metabolismo (1) donde se ha examinado la evidencia científica para la hipótesis de que el entrenamiento de resistencia que dura una hora o más realizado con baja disponibilidad de HC, permite una mayor oxidación de los ácidos grasos del tejido adiposo y mayor conservación del glucógeno muscular, lo que podría permitir alargar el tiempo de ejercicio físico antes del agotamiento, ya que la depleción del glucógeno se asocia con la aparición de la fatiga. (7) Además, la alta tasa de oxidación de ácidos grasos implica una menor producción de radicales libres y especies reactivas de oxígeno que, son capaces de producir daños en el material genético, mutaciones, envejecimiento y enfermedades crónicas entre otras. (1) Que parece ser un efecto negativo de las dietas altas en HC.

Cabe decir, que la capacidad que tiene el cuerpo humano para el almacenamiento de HC es muy limitada, puede acumular unos pocos cientos de gramos de glucógeno (100-500g) en el músculo esquelético e hígado y 5g de glucosa en circulación sanguínea, mientras que las reservas de grasa son claramente más grandes, puesto que poseemos una decena de kilos de estas, lo cual nos permite completar una carrera de larga distancia si somos efectivos en la utilización de este combustible. (8)

Es por ello, que en la actualidad, en los últimos 3-4 años, (9) para los deportistas profesionales, así como para los deportistas aficionados, se ha puesto de moda un nuevo enfoque nutricional, la dieta cetogénica (CK). Este nuevo enfoque, se ha testado en diferentes disciplinas deportivas sobre todo en los deportes de resistencia que a priori parece ser que es en donde mayores beneficios se obtienen.

1.2 Dieta cetogénica y cuerpos cetónicos

Esta dieta cetogénica, consiste en disminuir de manera drástica la ingesta de HC por debajo de 30 gramos/día o en general menos de 5% del total de las calorías diarias ingeridas. Implica el uso de grasa como sustrato principal. Es una dieta baja en HC, moderada-alta en proteínas, y alta en grasas. (10)

Cuando se sigue una CK, más de 4-7 días, al reducir tanto la ingesta de HC, las reservas de glucógeno en el hígado y en el músculo se vuelven insuficientes, y se necesita otro sustrato

para obtener energía. Durante la CK se produce un cambio importante a nivel metabólico. La falta o la reducción de HC en la dieta disminuye la insulina plasmática y aumenta el glucagón; este estado promueve la glucogenólisis hepática y la gluconeogénesis, así como la lipólisis del tejido adiposo a través del aumento de lipasa sensible a las hormonas HSL, que degrada los triglicéridos a ácidos grasos no esterificados y glicerol. Además, el glucagón favorece la captación de aminoácidos como alanina, glicina y prolina que sirven de sustrato para la gluconeogénesis. (11) Pero después de un período de restricción de HC, la glucogenólisis ya no es suficiente y, al carecer de glucosa, se produce un aumento de los niveles de ácidos grasos libres y de acetil CoA liberados del tejido adiposo (a través de la betaoxidación mitocondrial).(1) Los ácidos grasos son utilizados por los músculos. Sin embargo, el cerebro no los puede utilizar como combustible ya que no puede atravesar la barrera hematoencefálica (cuando se lleva una dieta rica en carbohidratos el cerebro usa de manera exclusiva la glucosa). Al no disponer de glucosa se produce un fenómeno que es la cetogénesis. La cetogénesis (1) es un proceso bioquímico en el cual el hígado produce un grupo de sustancias conocidas como cuerpos cetónicos, y estos serán utilizados principalmente por el cerebro. Estos cuerpos cetónicos se componen por el acetoacetato (AcAc), beta-hidroxibutirato (BHB), que es el que se forma en mayor proporción, y se utiliza como marcador de cetosis, y por último, la acetona. Pero los primeros días desde la reducción de los HCs, los cuerpos cetónicos no solo van al cerebro, sino que son usados por el músculo para cubrir parte de sus necesidades energéticas, ya que al principio no utiliza los ácidos grasos de manera efectiva.(1)

Por último, una persona se encuentra en cetosis a partir de 0,5-3 mmol/L, de beta-hidroxibutirato(12)

1.3 Principios necesarios para llevar a cabo la dieta cetogénica

1. Se requiere un tiempo mínimo de adaptación a la dieta baja en HC. (1)

Se requiere de un periodo de 2 semanas para conseguir que el cuerpo alcance su máximo estado de rendimiento fisiológico, es decir que, para que la gran mayoría de cuerpos cetónicos producidos por el hígado sean consumidos por el cerebro y que el consumo fundamental del tejido muscular sean los ácidos grasos. Sin embargo, a las 24-48 h de haber comenzado esta reducción de HC ya se empezará a oxidar grasa de forma continua.

2. Reducir la ingesta de carbohidratos por debajo del peso en gramos de hidratos por día:

Para que se consiga el máximo grado de Ceto-adaptación lo ideal sería que la ingesta de HC esté por debajo de la mitad de nuestro peso en gramos de HC. Por ejemplo, si nuestro peso es de 60 kilos lo ideal sería consumir 30g al día.

3. La dieta baja en hidratos de carbono debe estar bien formulada:

También es necesario tomar en consideración los electrolitos, puesto que, al vaciarse los depósitos de glucógeno, se orina más, con la consiguiente pérdida de estos, seguido de deshidratación. Esto se produce de manera fisiológica y es por tanto necesaria la suplementación. Por tanto, habrá que realizar una correcta hidratación y tener en cuenta los siguientes electrolitos:

Sodio: que se debe consumir entre 5 y 7 g para evitar la fatiga e hiponatremia.

Potasio: consumir más de 2000 mg puesto que se elimina también por orina

Magnesio: ingerir entre unos 300-600mg (con la alimentación suele ser suficiente) pero en caso de requerirlo se puede ingerir como suplemento para evitar cuadros de calambres. (1)

1.4 Sistemas energéticos

Para conocer el efecto de la CK y la dieta basada en HC en el rendimiento es importante conocer los sistemas energéticos y el impacto en el ejercicio físico.

Para la obtención de energía, se requiere de ATP, la moneda energética. Para obtener este adenosín trifosfato (ATP) existen 3 vías: (13)

1.Sistema del fosfágeno: Es un proceso muy rápido que no necesita la presencia de O₂. Se utiliza en movimientos explosivos y al inicio de cualquier actividad. Es por tanto el sistema más rápido. Utiliza creatina fosfato presente en el músculo para sintetizar ATP. Sin embargo, la cantidad de creatina fosfato en el músculo es baja, por lo que este sistema solo proporciona energía los primeros segundos de una actividad intensa. Cuando finaliza el ejercicio, durante la recuperación, la fosfocreatina es rápidamente regenerada.

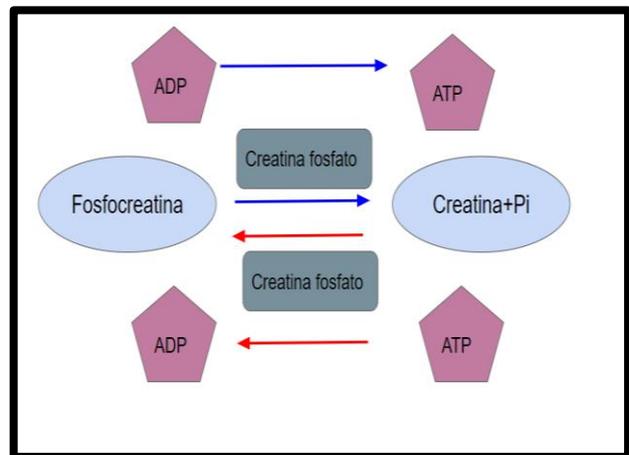


Ilustración 1: Obtención del ATP con la transferencia de ADP mediante el sistema del fosfágenos (Fuente: elaboración propia)

Este sistema es el que predomina en los deportes de fuerza. (14)

2.Sistema glucolítico: Se produce en ausencia de O₂ y tiene lugar en el citoplasma. Depende de los almacenes celulares de energía y nutrientes. Son muy rápidos, producen poca energía y se agotan pronto. Es poco rentable pero muy rápida. Consigue contracciones muy rápidas. Produce más ATP que el sistema fosfágeno.

Utiliza como sustrato energético la glucosa 6-fosfato (glucógeno muscular o glucosa) (Ilustración 2) para obtener ATP. Este sistema predomina en ejercicios de alta intensidad y duración corta, es decir, en deportes anaeróbicos como por ejemplo en los sprints.

En esfuerzos de máxima intensidad hasta los 2 minutos se combinan los dos sistemas, fosfágenos y glucólisis anaerobia. (14)

3.Sistema aeróbico: Es el sistema más lento, pero también el más rentable desde el punto de vista energético, al producir gran cantidad de ATP. Este sistema requiere oxígeno, y se lleva a cabo en las mitocondrias de las células. Generan mucha energía y son casi inagotables. Utiliza como sustrato energético, los ácidos grasos, glucosa y aminoácidos.

Glucólisis aeróbica: cuando el ejercicio se prolonga, se toma la glucosa de la sangre (glucógeno hepático)

Oxidación lipídica: Es una fuente de energía

casi inagotable. Utiliza triglicéridos del músculo, ácidos grasos del plasma, y depende en gran medida del aporte de ácidos grasos y oxígeno por parte de la sangre

Oxidación de aminoácidos: Es el último recurso, si existen otros sustratos, la utilización de estos es prácticamente despreciable (5% del metabolismo oxidativo durante el ejercicio) (14)

La producción de ATP a partir de fosfocreatina se utiliza únicamente al inicio de la actividad como he mencionado anteriormente, al prolongar el ejercicio se utiliza glucosa o ácidos grasos en función de la disponibilidad, intensidad y adaptación del individuo a la oxidación de un sustrato u otro.(1)

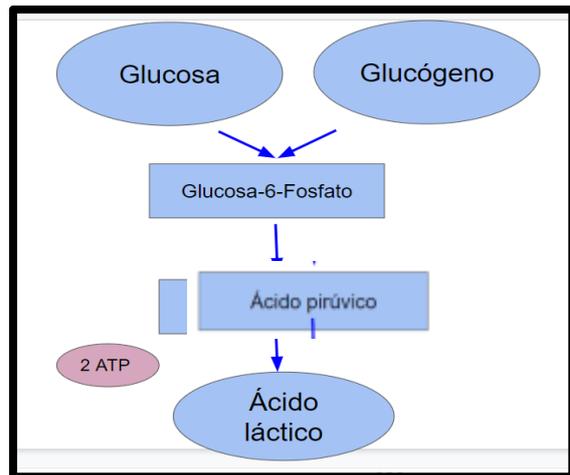


Ilustración 2: Obtención de ATP mediante el sistema glucolítico a través de la glucosa o glucógeno obteniendo glucosa6-fosfato, ácido pirúvico y ácido láctico como intermediarios. (Fuente: elaboración propia)

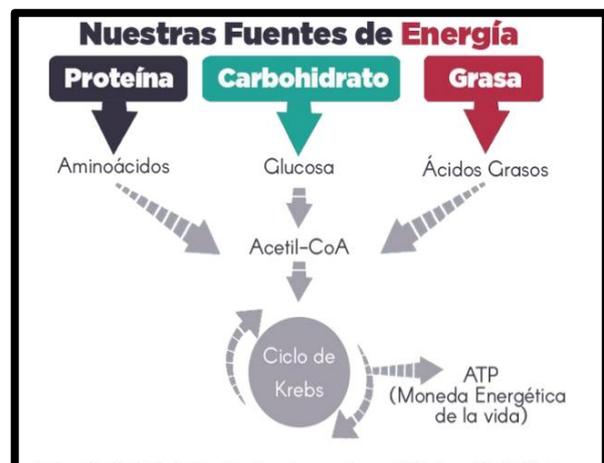


Ilustración 3: Fuentes de energía del sistema aeróbico, acetil-coa, ciclo de krebs y obtención de ATP (Fuente: Manual de cero a ceto)

2. OBJETIVOS

Analizar los beneficios y desventajas de la dieta cetogénica frente a la dieta basada en hidratos de carbono en el rendimiento deportivo en tres deportes diferentes teniendo en cuenta los tres sistemas energéticos a través del análisis de tres estudios.

1.Describir las ventajas y desventajas de la dieta cetogénica en gimnastas artísticos frente a la dieta basada en hidratos de carbono, cuyo sistema predominante es el del fosfágenos debido a que predomina la fuerza y la potencia, analizando el artículo: “la dieta cetogénica no afecta el rendimiento de fuerza en gimnastas artísticas de élite”.

2.Describir las ventajas y desventajas de la dieta cetogénica frente a la dieta basada en hidratos de carbono en entrenamientos de HITT, cuyo sistema predominante es el glucolítico, por ser un deporte de alta intensidad, mediante el análisis: “Efectos de una dieta alta en grasas y muy baja en carbohidratos durante 12 semanas sobre la capacidad aeróbica máxima, el ejercicio intermitente de alta intensidad y la regulación autonómica cardíaca”.

3.Describir las ventajas y desventajas de la dieta cetogénica frente a la dieta basada en hidratos de carbono en ciclistas en actividades moderadas y/o ligeras y alta intensidad, cuyo sistema predominante es el aeróbico, ya que es un deporte de resistencia, analizando el estudio: “Los efectos de una dieta cetogénica sobre el metabolismo del ejercicio y el rendimiento físico en ciclistas todoterreno”.

3. DESARROLLO:

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este trabajo, se ha realizado una búsqueda bibliográfica en una de las principales bases de datos científicas: Pubmed.

Como criterio de selección, se ha restringido la búsqueda de artículos publicados antes del 2012, para obtener información lo más actualizada posible. Además, se ha descartado estudios que estaban patrocinados por productos concretos. (Estudios que demostraban que las dietas altas en HC mejoraban el rendimiento, patrocinado por bebidas con HC)

Con el fin de acotar la búsqueda se ha tenido en cuenta, artículos de revisión y ensayos clínicos. Se ha realizado un análisis de 3 estudios, por ser representativos, en función del sistema energético predominante. Para llegar a estos tres estudios, se ha hecho primero una búsqueda de los deportes que predominaban en cada uno de los sistemas energéticos, y a

partir de ahí, se ha realizado una búsqueda de artículos en Pubmed. Para la realización de la búsqueda, se utilizan las siguientes palabras clave: “ketogenic diet and performance” “rol of ketogenic diet” En primer lugar se analiza un deporte de fuerza con el artículo de los gimnastas artísticos, ya que, a día de hoy ,es donde más estudios se ha realizado, en deportes de fuerza, y por tanto donde mayor evidencia científica se puede obtener. Se ha optado por este estudio, ya que el sistema predominante en estos deportes es del fosfágenos. El segundo estudio analizado, es en un deporte de alta intensidad, para ello se ha seleccionado un estudio donde evaluaba la dieta en los ejercicios de HIIT, puesto que, hoy en día,es un deporte que está muy de moda y por tanto es donde hay estudios más sólidos acerca del impacto de la dieta. Este ha sido el segundo estudio que se ha elegido, ya que, al ser un deporte principalmente anaeróbico, el sistema que predomina es el glucolítico. Por último, se ha valorado un ejemplo de un deporte donde predomina el sistema aeróbico, se ha escogido el de los ciclistas todoterreno, puesto que, es el deporte donde más estudios se ha hecho acerca del impacto de la dieta. Con estos tres estudios, se determinará el impacto de la CK y la dieta basada en HC en el rendimiento deportivo, teniendo en cuenta los sistemas energéticos y por tanto las intensidades de cada uno de los deportes.

Además, se ha seleccionado estudios que tuvieran en cuenta la duración, esto es importante donde se valora la CK ya que desafortunadamente, hay pocos estudios sobre el tema que muestren métodos y resultados consistentes, debido a que la mayoría de los estudios que valoran esta dieta, han tenido una duración de dos semanas, y no estaban Ceto-Adaptados por lo que no se pueden tener en cuenta.

Por otro lado, varios de los estudios escogidos son aleatorizados cruzados, lo cual evita errores por variables individuales.

Con todo esto expuesto, se verán las posibles ventajas y desventajas de cada una de estas dietas en las diferentes disciplinas deportivas.

ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS

Efecto en el rendimiento de fuerza y potencia con la dieta cetogénica y con a la dieta mixta en gimnastas artísticos cuyo sistema predominante es el fosfágenos

Título:“La dieta cetogénica no afecta al rendimiento de fuerza en gimnastas artísticas de élite”(15)

Autores: Antonio Paoli, Keith Grimaldi, Dominic D’Agostino, Lorenzo Cenci, Tatiana Moro, Antonio Blanco, Antonio Palma

Objetivo: Este estudio, tiene como objetivo analizar las ventajas y desventajas de la CK frente a la HD, una dieta convencional basada en hidratos de carbono, en el rendimiento de fuerza explosiva, en gimnastas artísticas de élite

Tipo de estudio: Ensayo clínico aleatorizado cruzado

Muestra: Se escogieron a 8 gimnastas de élite varones de entre 20 a 25 años

Procedimiento: Se les analizó la composición corporal y varios aspectos del rendimiento, (la elevación de pierna recta colgante, empuje hacia arriba en el suelo, caídas de barras paralelas, pull up, salto cuclillas, salto en contramovimiento, saltos continuos de 30 segundos) antes de realizar la CK y 30 días después de seguir esta dieta. Tres meses después, los atletas fueron reprobados durante un segundo período

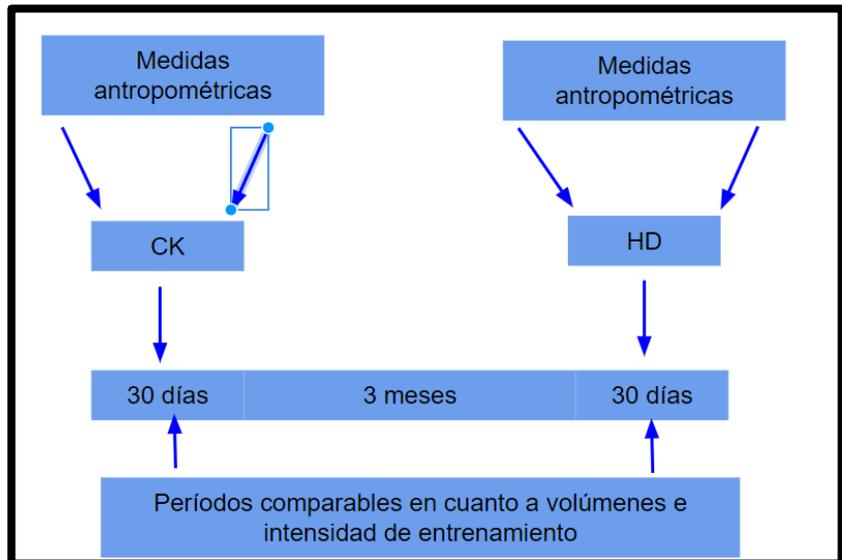


Figura: 1 Esquema del protocolo experimental del seguimiento de los sujetos que seguían la CK y los sujetos que seguían la HD durante 30 días separado por 3 meses fuente. (Fuente: Figura de elaboración propia)

de entrenamiento con la misma intensidad y volumen que el primero, pero en esta segunda sesión experimental, los sujetos siguieron su dieta normal, una dieta mixta (HD). Consiste en una dieta occidental sin ningún tipo de restricción de alimentos y basada en el consumo de HC. El procedimiento de prueba antes y después fue el mismo. **(Figura 1)**

Durante el período cetogénico, la ingesta diaria de carbohidratos fue de 22 g, para garantizar el estado de cetosis. La distribución en porcentajes de macronutrientes fue de 54,8% de grasa, 40,7% de proteína y 4,5% de carbohidratos. Durante el período la HD los macronutrientes fueron 46,8% de carbohidratos, 38,5% de grasas y 14,7% de proteínas. Antes de iniciar el estudio, cada atleta recibió una lista detallada de los alimentos permitidos y prohibidos de esta dieta. En la CK a pesar de la disminución de HC, se tuvo en cuenta una ingesta adecuada de proteínas. Además, durante los períodos de CK, los atletas consumían una cápsula de un suplemento multivitamínico-mineral cada mañana con magnesio calcio fósforo entre otras, por las pérdidas que se produce durante la cetosis como he mencionado en la introducción.

Variables estudiadas: En el estudio se mide peso corporal, la masa magra, el porcentaje de masa magra, el porcentaje de masa grasa, la fuerza y la potencia. Estas dos últimas se

midieron mediante una serie de fórmulas y aparatos que miden la altura de salto, despegue, aterrizaje, en función del ejercicio realizado.

Hipótesis: La CK no afectará en el rendimiento de los gimnastas artísticos

Resultados: A nivel basal, no hubo diferencias significativas en las variables antropométricas en las pruebas de fuerza y potencia antes de ninguno de los ensayos. (**Tabla 2**)

Dieta CK:

Con la CK se produjo una disminución muy significativa en el peso corporal. ($p < 0,001$) (**Figura 2**) (media pre:69; post:68) (**Tabla 1**) La grasa corporal disminuyó de manera muy significativa (**Figura 2**) ($p < 0,001$) (media pre:5,3; post:3,4) (**Tabla 1**) y como consecuencia el porcentaje de grasa. (media pre7,6; post: 5) ($p < 0.001$) (**Tabla 1**) Los kilogramos de músculo (media pre:37,6 post:37,9) y la masa muscular magra (media pre:64,2; post:63,1) permanecieron sustancialmente constantes. ($p < 0,01$) (**Tabla 1**)

Dieta HD

En cuanto a la HD, no hubo diferencias significativas en el pre y post en las variables antropométricas ni en las pruebas de fuerza y de potencia. (**Figura 2 y Tabla 1**)

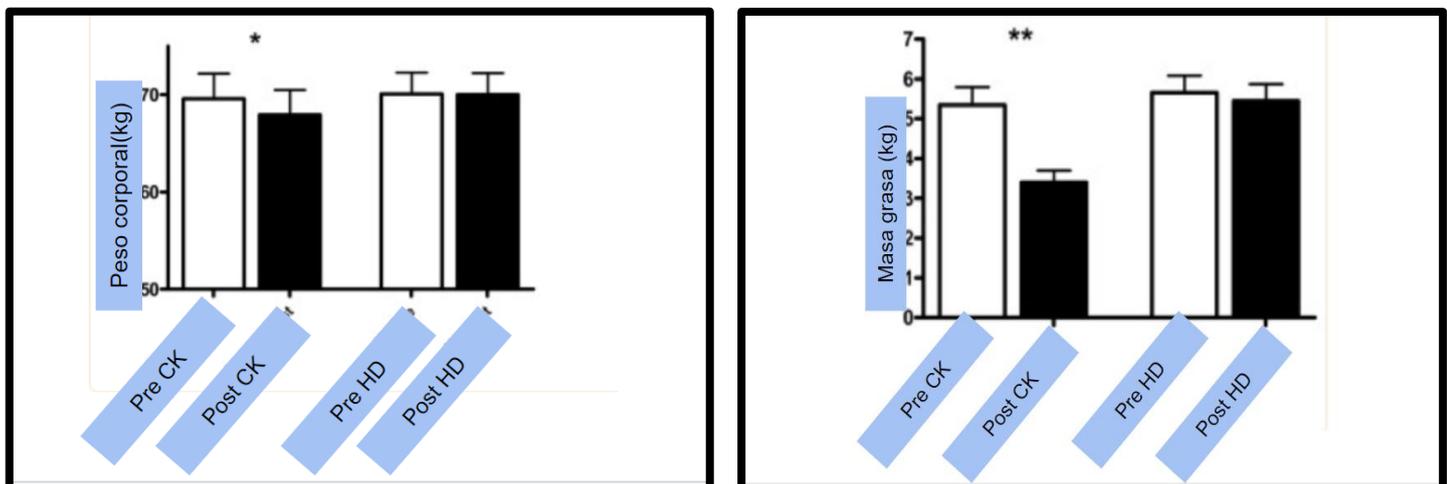


Figura 2: Cambios en el peso corporal y kilogramos de grasa antes y después de la CK y HD mediante un diagrama de barras. (Símbolos **= $p < 0,001$ diferencia significativa desde el inicio; $p < 0,05$ diferencia significativa desde el inicio.)

VARIABLES	INICIO CK	FINAL CK	INICIO HD	FINAL HD
Resultados rendimiento				
Barrera de pierna cerrada	19,2	21,7	17,2	16
Fondos en barra paralela	25,8	28,2	23	27
Resultados antropométricos				
Kg de músculo	37,6	37,9	38,4	38,6
Kg de grasa	5,3	3,4**	5,1	4,9
Grasa (%)	7,6	5**	8	7,7
Masa corporal magra (kg)	64,2	63,1	61,5	61,8
Masa corporal magra%	92,4	95**	92	92,3
Peso (kg)	69,6	68**	70,1	70

Tabla 1: Cambios en el peso corporal, kilogramos de grasa y algunas variables de fuerza antes y después de la dieta baja en carbohidratos y la dieta occidental. Los valores se expresan como media (Símbolos **= $p < 0,001$ diferencia significativa desde el inicio; $p < 0,05$ diferencia significativa desde el inicio.)

Efecto en el rendimiento de ejercicios de intensidad alta con la dieta cetogénica y la dieta mixta cuyo sistema predominante es el glucolítico

Título: Efectos de una Dieta Muy Baja en Carbohidratos de 4 Semanas en las Respuestas al Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad (16)

Autores: Lukas Cipryan, Daniel J. Plews, Alessandro Ferreti, Phil Maffetone, Paul B. Laursen

Objetivo: El objetivo del estudio, es examinar las ventajas y desventajas de la CK frente a la HD durante un período de 4 semanas sobre el rendimiento y respuestas fisiológicas durante el intervalo de alta intensidad

Tipo de estudio: Ensayo clínico paralelo aleatorizado

Muestra: Se asignaron dieciocho hombres moderadamente entrenados

Procedimiento: Los sujetos fueron asignados a dos grupos. Un grupo que seguía la CK (n=9) y el grupo que seguía la dieta HD (n=8) (se perdió uno de los sujetos que iba a seguir la HD) A los participantes que seguían la HD se les pidió que siguieran la dieta habitual, mientras que los sujetos de CK se les exigió que redujeran la ingesta de HC a 50g día. Ninguna de las dietas incluía un objetivo específico de calorías o energía.

Al inicio (pre), después de dos semanas (medio) y 4 semanas (post) del experimento controlado, los participantes asistieron al laboratorio de fisiología del ejercicio para realizar las pruebas. Se realizó una prueba incremental máxima en cinta ergométrica (GXT) en pre y post, mientras que se realizó una sesión de HIIT en todos los puntos de tiempo. Las pruebas se separaron por 48 horas.

1.La prueba de ejercicio gradual hasta el agotamiento

Se efectuó esta prueba, con el fin de determinar la capacidad aeróbica máxima (VO₂max) y la velocidad de carrera mínima requerida para obtener el VO₂max. Los participantes realizaron una prueba de ejercicio gradual (GXT) hasta el agotamiento voluntario. El protocolo GXT se hizo en una cinta de correr que comenzó a 7,0km/h y aumentó 1,5km/h cada 4 minutos con una inclinación que se mantuvo en 1%.

2.Prueba intervalo de alta intensidad (HIIT)

Las sesiones de HIIT, incluye ejercicios de alta intensidad por encima de la velocidad/potencia crítica, intercaladas con períodos de recuperación, y permite a los atletas mantener largos períodos de tiempo por encima del 90% VO₂max.

La sesión de HIIT se realizó también en una cinta e implicó una entrada en calor de 10 minutos al 60% del vo₂max, seguida de 5 repeticiones de alta intensidad de 3 minutos al 100% del VO₂max, separadas de 1,5 minutos de recuperación pasiva. Para la sesión de HIIT, la cinta rodante se fijó al 1%, y duró un total de 34 minutos. El protocolo fue elegido debido a que requiere un alto nivel de oxidación aeróbica, así como contribuciones neuromusculares y glucolíticas anaeróbicas.

VARIABLES ESTUDIADAS: Las variables estudiadas en la GXT, fueron la concentración de BHB en los sujetos que seguían la CK, la composición corporal, incluyendo la grasa corporal, la masa corporal, la VO₂max, el tiempo total hasta el agotamiento (TTE), la oxidación de grasa que se calculó a partir de mediciones de calorimetría indirecta utilizando ecuaciones estequiométricas del cociente respiratorio (RER). (El cociente respiratorio, permite conocer el tipo de nutriente que se está oxidando) Para este cálculo se utilizó el RER promedio de los últimos 2 minutos de cada intervalo de 4 minutos y el valor más alto se consideró el FAT max o grasa máxima oxidada en gramos, que indica la intensidad del ejercicio donde la tasa de oxidación de lípidos es máxima, es decir la intensidad a la cual se oxidan más gramos de grasa por minuto.

En las pruebas de HIIT, se midió el Cociente respiratorio (RER) cuyos valores se encuentran entre 0,7 a 1. Cuanto más próximo esté de 0,7, mayor es la oxidación de grasa. La concentración de lactato (LA), que se midió mediante muestras de sangre capilar, la frecuencia cardíaca media en % (FC), el pico de VO₂ max en %, y el índice de esfuerzo percibido (RPE) que se registró después de cada intervalo.

Hipótesis: La CK afecta negativamente en los ejercicios de alta intensidad.

Resultados:

Método: Se calcularon las diferencias estandarizadas en la media (tamaño del efecto) y los intervalos de confianza del 90% (IC del 90%) para las diferencias entre grupos.

Se muestran las diferencias a lo largo del tiempo entre los cambios en los grupos CK y HD expresados como valores de Tamaño del efecto y su probabilidad (* posible, **probable, *** muy probable, ****muy probable)

Resultados en la Prueba de ejercicio gradual (GXT)

Las concentraciones de BHB en sangre antes del comienzo del estudio fueron similares (<0,1 mmol/l). Como se esperaba, la BHB aumentó en el grupo CK a $0,7 \pm 0,3$ mmol/L después de 2 semanas, y disminuyó a $0,4 \pm 0,2$ mmol/L después de 4 semanas, lo que indica el cumplimiento de la dieta CK en los sujetos correspondientes.

Los cambios en la masa corporal entre grupos, fue *pequeña* pero *probable*. Con mayor disminución en los sujetos de la CK. Pasaron de una media de 83,2 en el pre a 78,5 en el post. **(Tabla2)** En cuanto a la grasa corporal, las diferencias entre grupos fue *moderado probable*. **(Tabla 2)** Con mayor disminución en la CK frente a la HD (media pre: 13,7 post: 10,5) El TTE y la VO₂max aumentaron después del periodo experimental en ambos grupos de estudio, pero las diferencias fueron *posiblemente triviales* ($-0,1 \pm 0,3$) y *probablemente pequeñas* ($0,6 \pm 0,5$), respectivamente. La diferencia entre grupos en el cambio de Fat max fue significativa ($1,2 \pm 0,9$) (*muy probablemente*). Revelando mayores aumentos en la CK sobre la HD. La media de los sujetos que seguían la CK fue de 0,7g en el pre y 1,1g en el post. **(Tabla2)**

Variables	Pre CK	Post CK	Pre HD	Post HD	Tamaño efecto
Masa corporal (kg)	83,2	78,5	83,7	82,9	-0,3(0,1)*
Grasa corporal (%)	13,7	10,5	16,1	15,0	-0,5(3)**
VO ₂ max (ml/kg/min)	52,3	55,4	51,9	53,4	-0,6(5)**
TTE(min)	25,7	27,2	24,0	25,8	-0,1(3)*
Fat max(g/min)	0,8	1,1	0,7	0,8	1,2(0,9)***

Tabla 2: Variables de la masa corporal, grasa corporal en %, vo₂max, TTE, FAT max g/min en el ejercicio de prueba gradual. Los valores se expresan como media.

Resultados en el Entrenamiento de intervalos de alta intensidad HIIT:

Hubo diferencias pequeñas entre los grupos en los cambios medios del pico de V02max, la FC % y RPE en las comparaciones pre, medio y post (**Tabla 3**)

Variabes	Dieta	PRE	MEDIO	POST
Pico Vo2max(%)	CK	97,8	96,6	98,2
	HD	94,6	90,2	96
FC media (%)	CK	86,8	86,1	84,1
	HD	87,4	84,3	84,3
RPE	CK	13,8	13,4	12,2
	HD	14,5	13,8	13,7

Tabla 3: Resultados del ejercicio de HIIT, en el pre, medio y final, de la VO2max, FC y RPE (los valores se expresan como media) fuente: tabla de elaboración propia.

Variabes	Medio/pre	Post frente pre	Post frente Medio
Pico vo2max	0,7 ± 1,3 poco claro	0,2±1,1, poco claro	-0,9 ± 1,3, poco claro
FC media %	0,3±0,0 ***, pequeño	0,1±0,1****, trivial	-0,3±0,1**, pequeño
RPE	0,3 ± 0,8, poco claro	-0,4± 0,9, poco claro	-0,6± 0,8, pequeño

Tabla 4: Diferencias entre los cambios en los resultados HIIT en los grupos CK y HD. Calentamiento y enfriamiento excluidos.

El RER medio disminuyó en ambos grupos, pero fue sustancialmente más pronunciado en el grupo CK. En los sujetos de la CK el RER entre el pre y el medio se encuentran más próximos a 0,7 en comparación con los sujetos de la HD. (**figura 3**). Los valores máximos de RER disminuyeron progresivamente a lo largo de las cinco repeticiones de alta intensidad en ambos grupos, independientemente de los puntos de tiempo de medición pre, medio y post.

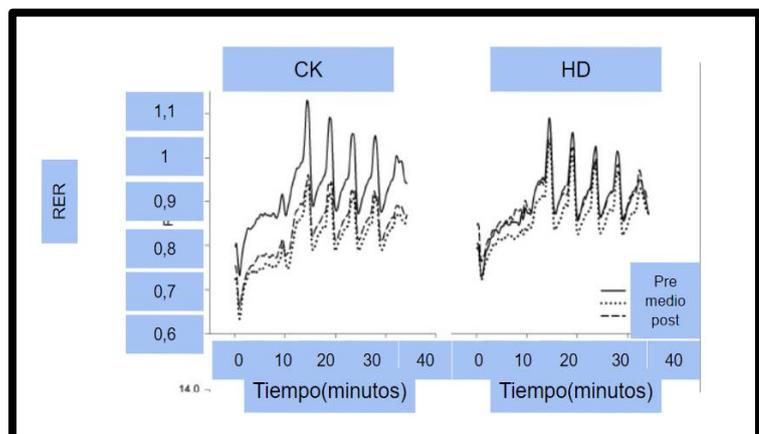


Figura 3: Relación del cociente respiratorio en la CK y la HD en el pre medio y post

Los cambios en la concentración de LA a las 2 y 4 semanas del experimento respondieron de manera diferente. La concentración de lactato aumentó en ambos grupos con un aumento en el medio respecto al pre. La concentración de lactato fue significativamente mayor en el grupo de CK frente a HD. (Figura 4)

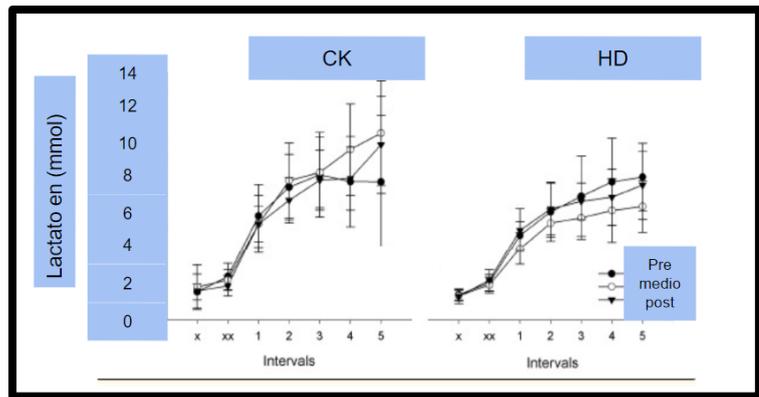


Figura 4: Relación de la concentración de lactato en los sujetos de la CK y HD en el pre medio y post

Efecto en el rendimiento de ejercicios de intensidad moderada-leve con la dieta cetogénica y la dieta mixta cuyo sistema predominante es el glucolítico

Título: Los efectos de una dieta cetogénica sobre el metabolismo del ejercicio y el rendimiento físico en ciclistas todoterreno (17)

Autores: Adán Zajac, Estanislao Poprzecki, Adaán Maszczyk, Milosz Czuba, Malgorzata Michalczyk y Grzegorz Zydek

Objetivo: El objetivo de esta investigación fue determinar las ventajas y desventajas de una dieta cetogénica a largo plazo, rica en ácidos grasos poliinsaturados, frente a la dieta basada en en HC en el rendimiento aeróbico y el metabolismo del ejercicio en ciclistas todoterreno. A pesar de que no era el objetivo principal, se planteó otro objetivo, donde se midió el efecto de la dieta en intensidades elevadas en el ejercicio

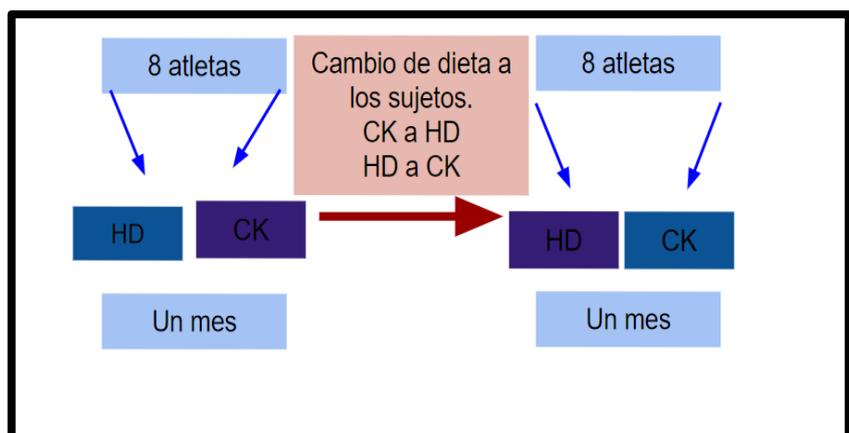
Tipo de estudio: Ensayo clínico cruzado aleatorizado

Muestra: Para ello, se escogieron a 8 sujetos masculinos ciclistas, de entre 24 y 28 años con experiencia en el deporte de al menos 5 años. Cada ciclista realizó un protocolo de ejercicio continuo en cicloergómetro con intensidad variada

Procedimiento: El experimento se llevó a cabo durante el período preparatorio del ciclo de entrenamiento anual en un momento de mucho volumen de trabajo y baja intensidad.

El estudio se realizó durante cuatro semanas.

Se adoptó un diseño cruzado con atletas asignados aleatoriamente



a la HD o CK durante el primer mes, con un cambio de procedimientos de alimentación durante el segundo mes. El primer día de las evaluaciones, se les midió el peso corporal mediante una bioimpedancia eléctrica, y posteriormente se administró una prueba de intensidad progresiva para determinar el V02max y el nivel de umbral de lactato (LT) (El umbral de lactato indica la intensidad del ejercicio a partir del cual se empieza a utilizar la glucólisis anaerobia para la obtención de energía). El segundo día los ciclistas realizaron un esfuerzo continuo de intensidad variada con una duración de 105 minutos, donde los primeros 90 min del protocolo de prueba, la intensidad se fijó en el 85 % de la LT. Los últimos 15 min del esfuerzo continuo se realizaron a la máxima intensidad individual con la carga ajustada al 115% del LT.

Variables estudiadas: Las variables estudiadas, fueron la concentración de BHB (en la CK) la masa corporal y la masa grasa. En cuanto a las variables bioquímicas, se tuvo en cuenta la FC, el RER, los ácidos grasos libres (FFA), el LA, la creatina quinasa (CQ), la lactato deshidrogenasa (LDH), además de la insulina, cortisol, la testosterona, la VO2max y el Umbral de lactato (LT). Además de estos, se evaluaron otros parámetros, pero que no se mencionan por no ser de interés para nuestro estudio.

Durante las pruebas iniciales se realizó una entrevista dietética, para conocer las dietas de los participantes a nivel calórico y de composición. La HD o estándar, es decir la de mayor contenido en HC estaba compuesta por: 50% de HC, 30% de grasas y 20% de proteínas, mientras que la CK estaba compuesta por 70% de grasa, 15% de proteínas y 15% de carbohidratos, y estaba compuesta por un alta contenido en ácidos grasos poliinsaturados. Por último, el contenido calórico de la dieta fue de 3865 ± 156 kcal.

Resultados: Se produjo una pérdida de masa corporal en los sujetos de la CK respecto a la HD. (**Tabla 5**) Como consecuencia el IMC disminuyó también en los sujetos de la CK. El porcentaje de grasa disminuyó significativamente (media: 14,88 a 11,02)

Variables	HD	CK	varianza
Masa corporal (kg)	80,14	78,26	0,552
IMC (kg/m ²)	24,87	23,89	0,471
Grasa (%)	14,88	11,02	0,747

Tabla 5: Variables de la composición corporal, el IMC y % de grasa en los sujetos de la HD y la CK (expresado en medias)

Las diferencias en la FC están más acentuadas en los sujetos de la CK respecto a la HD pero sin diferencias significativas. Se produjo un aumento de la FC en ambos grupos a medida que aumenta la intensidad de la prueba. (**Tabla 6**)

La oxidación de grasa es mayor en el grupo CK frente a la HD (RER más próximo a 7) pero tiende a igualarse cuando se llega al esfuerzo máximo. ($p=0,001$) (**Tabla 6**)

	Descanso		10 minutos		45 minutos		90 minutos		Esfuerzo máximo	
	HD	CK	HD	CK	HD	CK	HD	CK	HD	CK
FC	72	75	150	150	158	161	167	169	187	185
RER	0,88	0,76	0,86	0,78	0,85	0,79	0,84	0,79	0,97	0,94

Tabla 6: Valores de frecuencia cardíaca (FC), índice de intercambio respiratorio (RER) después de una dieta mixta y cetogénica durante el protocolo de ejercicio. (expresado en medias)

La concentración de FFA es mucho mayor en la CK en reposo ($p=0,021$), durante los 45 minutos de ejercicio ($p=0,012$), y tras los 90 minutos ($p=0,001$) Sin embargo disminuyó en ambos grupos a medida que transcurría el ejercicio, y aumentó en ambos grupos tras el esfuerzo máximo.

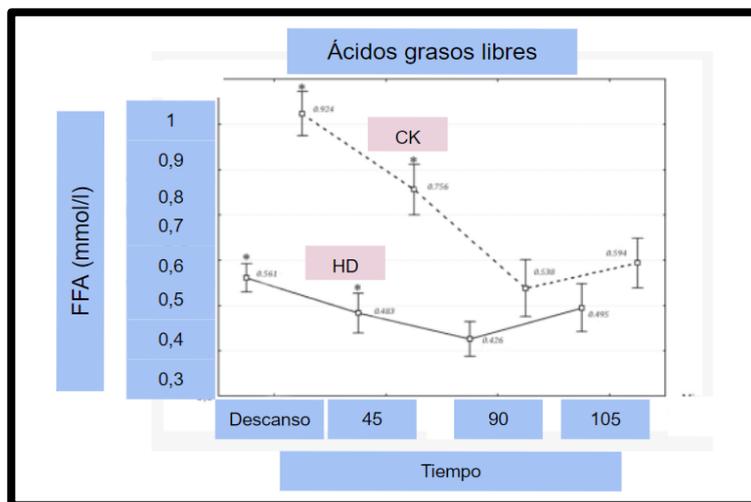


Figura 6: Concentración de ácidos grasos libres durante el protocolo de ejercicio después de una CK y HD con significación estadística ($p<0,05$)

Los atletas que seguían la CK obtuvieron menores concentraciones de LA plasmático en reposo, durante el ejercicio continuo de intensidad moderada y especialmente después de los últimos 105 minutos del protocolo con un esfuerzo de máxima intensidad. (Significación estadística con $(p < 0,05.)$) Sin embargo, aumentó en ambos grupos a partir de los

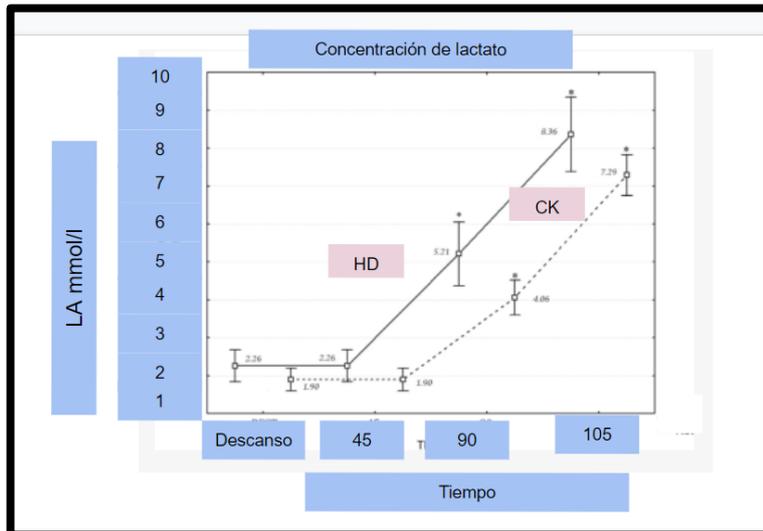


Figura 7: La concentración de lactato durante el protocolo de ejercicio después de una CK y HD con una significación estadística ($p < 0,05$)

ambos grupos a partir de los 45 minutos del ejercicio alcanzando el pico máximo durante el esfuerzo de alta intensidad.

Los niveles sanguíneos de la CQ, y de la LDH, disminuyeron tanto en reposo como durante el ejercicio después de las cuatro semanas

En cuanto a la testosterona, no hubo ningún efecto estadísticamente significativo en la intervención dietética. ($p= 0,061$) durante el reposo y durante el protocolo de ejercicio.

Variables	Descanso		45 minutos		90 minutos		Esfuerzo máximo	
	HD	CK	HD	CK	HD	CK	HD	CK
QC(U/L)	126	119	158	129	160	139	178	140
LHD (U/L)	321	262	349	267	359	265	439	311
Testosterona(ng/L)	6,2	5,86	8,78	7,21	9,38	8,08	7,91	8,14

Tabla 7: Valores de las variables bioquímicas CK, LDH y testosterona en la HD Y CK en reposo y durante el protocolo (expresado en medias)

La VO₂max aumentó de manera significativa en la CK respecto a la HD ($p=0,001$)

El VO₂LT aumentó también de manera significativa en la CK respecto a la HD ($p=0,001$)

(Tabla 8).

Variables	HD	CK	p
VO2max(mL/kg/min)	56,02	59,40	0,001
VO2LT(mL/Kg/min)	43,50	47,80	0,012

Tabla 8: Variables fisiológicas (VO 2 máx y VO 2 LT) en ciclistas todoterreno tras la CK y HD (expresado en medias)

4.CONCLUSIÓN:

1.Deportes donde predomina el sistema del fosfágenos:

En los deportes donde el sistema fosfágenos es el que predomina, como el artículo analizado en los gimnastas artísticos, el rendimiento de fuerza y de potencia no se vieron perjudicados en los sujetos que seguían la CK ni en los sujetos que seguían la HD. Esto se debe principalmente, a que el sistema de los fosfágenos, no requiere de grasa ni glucosa como sustrato. Sin embargo, este sistema solo se utiliza al principio del ejercicio y generalmente se combina con el sistema glucolítico. A pesar de esto, los atletas Ceto-Adaptados, no empeoraron su rendimiento. Esto se debe a una mayor eficacia en la oxidación de ácidos grasos debido a la Ceto-adaptación y por tanto la utilización de estos como combustible. (15)

Ventajas de la CK respecto a la HD

Las ventajas que se observaron en el estudio, fueron una pérdida de peso y de grasa corporal en la CK frente a la HD. Al no realizar un registro de las calorías ingeridas de los individuos, se asume que los sujetos de la CK redujeron su ingesta por una disminución del apetito. El estudio, menciona también que podría deberse al aumento del gasto metabólico provocado por la gluconeogénesis y el efecto térmico de las proteínas. Sin embargo, algunas investigaciones (18) lo explican por el efecto saciante-anorexigénico que produce la CK. Las grasas y las proteínas permanecen en el estómago durante un mayor período de tiempo y por tanto son capaces de prolongar la sensación de saciedad si se compara con los HC. Asimismo, producen un aumento de las hormonas que generan saciedad como la colecistoquinina que es un potente supresor del apetito. Además, se produce un aumento de la leptina cuyo efecto es también anorexigénico inhibiendo el apetito a nivel del sistema nervioso central. Por último, se produce una elevada concentración de BHB que tiene capacidad para inhibir directamente el centro del apetito. Cabe decir, que la CK permitió mantener la masa muscular, incluso hubo un ligero aumento respecto a la HD. Y, debido a la pérdida de peso, permitió una mejora del ratio músculo/grasa. El mantenimiento de la masa

muscular se debe a que el uso de ácidos grasos libres y cetonas como combustible muscular ahorra proteínas musculares y por tanto inhibe el catabolismo. (15) Esto supone una clara ventaja en los atletas que deseen perder peso y mantener la masa muscular. Supone una ventaja en los atletas que compiten en categorías de peso, pudiendo realizar una dieta HD durante la mayor parte de la temporada con el glucógeno alto manteniéndose un poco por encima de la categoría de peso, y utilizar posteriormente la CK para alcanzar el peso deseado antes de la competición, en vez de realizar dietas hipocalóricas, que suelen generar una disminución de la masa muscular. (15) Podría resultar también beneficioso en los culturistas, ya que necesitan regularmente reducir la grasa y o el peso antes de la competencia, preferiblemente sin que afecte al tamaño muscular y, la CK se puede usar para lograr esto. (21)

Limitaciones, ventajas de la HD frente a la CK y desventajas de la CK

Sin embargo, este estudio presenta una serie de limitaciones. En primer lugar, hay un sesgo de confirmación, ya que solo se mencionan las ventajas de la CK, pero no valora las posibles desventajas. La CK requiere primero de una adaptación y en el caso de deportistas de élite, puede perjudicar las sesiones de entrenamientos previos a la Ceto-adaptación. Teniendo en cuenta que los entrenamientos son muy medidos y que la dieta no mejora la fuerza ni la potencia, podría ser un factor limitante.

Por otro lado, otra de las desventajas de la dieta es la no adherencia (19), y como el estudio es de corta duración, no podemos saber si los sujetos siguieron la dieta a largo plazo. Por otro lado, los estudios reflejan (15) que la CK no resulta beneficiosa en la ganancia de masa muscular lo que podría ser una limitación sobre todo en deportistas donde se requiere un volumen muscular más elevado.(15) Esto ocurre debido a que la insulina es una potente hormona anabólica que participa en la vía de crecimiento muscular a través de IGF-1 y, durante la CK es muy difícil ganar músculo ya que durante la CK al reducir la ingesta de HC la insulina plasmática disminuye.(15) A pesar de esto, algunos estudios(20)indican que el beta hidroxibutirato reduce la oxidación de la leucina, el principal aminoácido señalizador de la síntesis de proteína, previniendo la degradación muscular, por lo que a pesar de todo la CK no es tan limitante a la hora de ganar masa muscular pero no es lo óptimo.

2.Deportes donde predomina el sistema glucolítico

La hipótesis del estudio fue que la disponibilidad reducida de HC en la CK afectaría negativamente el rendimiento en ejercicios de alta intensidad durante las últimas etapas de GXT, o en su capacidad para completar los turnos de HIIT. En contraste con la hipótesis, el rendimiento no se vio afectado. Las pautas dietéticas (16) han recomendado una ingesta diaria alta de HC para atletas que realizan ejercicio de intensidad moderada alta. Sin

embargo, los hallazgos del estudio desafían la necesidad de una dieta basada en HC para el rendimiento en los ejercicios de alta intensidad.

Ventajas de la CK frente a la HD

Parece que la CK no afectó en el rendimiento, esto se explica por mayores tasas de oxidación de grasas en el grupo de CK frente a la HD contrastado por un RER más próximo a 0,7, y por un aumento de la Fat max en la CK a intensidades mayores después de las 4 semanas. Se produjo una pérdida de grasa en la CK respecto a la HD, producida probablemente por las mismas causas que las citadas en el estudio anterior. Se produjo una ligera mejora en el TTE y VO₂max, aunque estadísticamente no fue significativo y cuya mejora podría deberse a la disminución de grasa y peso corporal. (16)

En cuanto a la concentración de LA, cuya hipótesis era que aumentaría en la HD frente a la CK, los resultados mostraron lo contrario. Los autores propusieron, que podría deberse a que la glucosa hepática se sintetizó a partir del glicerol en la CK, mientras que la HD obtuvo más glucosa del lactato, a pesar de las tasas similares de la gluconeogénesis durante el ejercicio. Además, las concentraciones más altas de LA en la CK, también podrían explicarse por una actividad inhibida de la piruvato deshidrogenasa, y la subsiguiente disminución de la conversión de piruvato en acetil-coa, lo que conduce a aumentos en la producción de lactato a partir del piruvato a través de la LDH, junto con el deterioro de la utilización del LA en la gluconeogénesis.

Asimismo, esta explicación respalda que las reservas de glucógeno no se agotaron en el grupo CK, y estaban aún disponibles para los ejercicios de alta intensidad.

Limitaciones y desventajas de la CK frente a la HD

Este estudio, presenta una serie de limitaciones. En primer lugar, no se midieron los niveles de glucógeno intramuscular, lo que hubiera ampliado los conocimientos acerca de los efectos de la dieta, pudiendo determinar las variaciones en la concentración de glucógeno intramuscular. Por otro lado, se produjo una estandarización de las dietas, por lo que no se midieron con detalle la ingesta exacta ingerida. Por otra parte, el tamaño muestral es muy limitado, y por tanto podría ser una limitación para confirmar la hipótesis. Además, el estudio no se realiza a largo plazo, por lo que las respuestas fisiológicas no están aún bien documentadas, y al igual que en el estudio anterior, no se sabe si los participantes podrían seguir la CK a largo plazo. (16)

3. Deportes donde predomina el sistema aeróbico:

Ventajas de la CK frente a la HD

La CK optimiza la capacidad de oxidar grasa y por tanto con la adaptación a la cetosis, este deporte es el que más ventajas obtuvo. Esto se evidenció por un RER más próximo a 0,7, y por un aumento de la concentración de FFA en el plasma. Se produjo una mayor oxidación

de grasa que junto al déficit calórico, permitió una pérdida de peso en los individuos que seguían esta dieta. Se produjo una mejora en los valores de $\dot{V}O_2\text{max}$ y un desplazamiento del LT después de la dieta cetogénica, esto puede explicar las reducciones en la masa corporal y la masa grasa, y/o por una mayor absorción de oxígeno necesaria para obtener el mismo rendimiento energético si se compara con la HD.

Aunque hay bastante variación individual, la curva (21) que muestro presenta una distribución típica, donde a baja intensidad la energía se obtiene principalmente de la grasa. A medida que la intensidad aumenta, el consumo de grasa se reduce y aumenta el de glucógeno. Una CK permite lograr lo que se muestra en la gráfica derecha, donde incluso a intensidades relativamente elevadas se sigue obteniendo buena parte de la energía de la oxidación de grasa, conservando glucógeno.

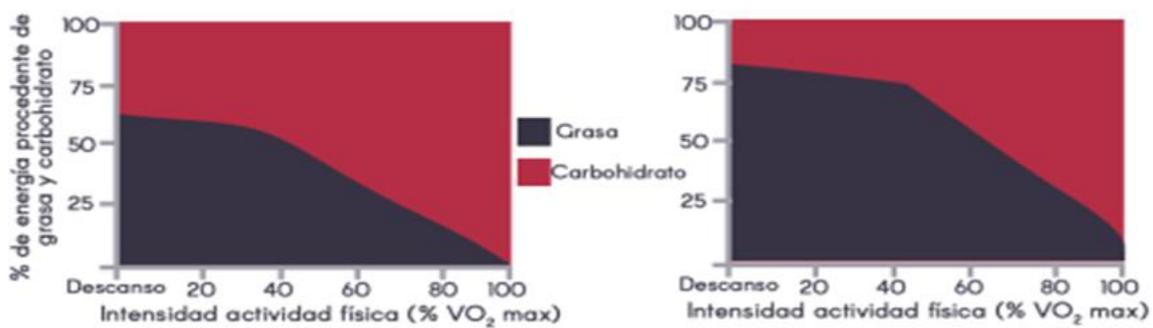


Figura 8: Gráficas donde se muestra la cantidad de oxidación de un sustrato u otro en función de la intensidad, donde se observa, una mayor oxidación de grasa con CK a cualquier intensidad (gráfica de la derecha)

La mayor eficiencia en la quema de grasa permitió conservar el glucógeno. Cabe decir, que la concentración de LA disminuyó con esta dieta. Esto fue, por una disminución de la glucólisis evidenciado por la disminución de la concentración de LDH, y por tanto mayor utilización de grasa como combustible. La reducción en la producción de LA, (1) cuya acumulación conlleva a la producción de iones hidrogeno, produce fatiga o agotamiento muscular por acidificación de las células musculares. Además, si la acidez aumenta de forma considerable en los músculos, se pueden producir lesiones y desgarros en las fibras musculares. Asimismo, hubo una disminución de la glucólisis que se evidenció por la disminución de la concentración de LDH. Se produjo una disminución del daño muscular (17) en la CK, que se evidenció unos niveles sanguíneos de CQ disminuidos, ya que estos se utilizan como marcador del daño muscular(22) Esta es una enzima que se encuentra en el músculo esquelético y en momentos de ejercicio físico intenso su actividad puede ocasionar daños musculares. Los individuos que seguían la CK, tenían niveles más elevados de cortisol, ya que está directamente relacionado con la cantidad de glucógeno, a más glucógeno almacenado, se libera menos cortisol y esto

confirman el concepto de que el mecanismo glucostático controla las respuestas hormonales y metabólicas al ejercicio. (20) De acuerdo con este concepto, el agotamiento del glucógeno muscular y hepático conduce a la estimulación de la lipólisis y la producción de glucosa, debido a cambios en la secreción de hormonas glucorreguladoras. En cuanto a la testosterona, se obtuvieron valores más bajos después en la CK en reposo y durante el protocolo del ejercicio, pero se desconoce el motivo. A pesar de los resultados encontrados en el estudio, hay evidencia científica, de que la CK bien formulada, aumenta los niveles de testosterona. (23)

Ventajas de la HD frente a la CK

Esto no quiere decir que el glucógeno no sea importante en la larga distancia, ya que, a intensidades mayores, se vio que la CK sí que perjudicó el rendimiento. Esto se debe, a que en momentos puntuales de mayor intensidad, la oxidación de grasa ya no es suficiente. La oxidación de grasa como energía genera menos ATP por unidad de tiempo, frente a la oxidación de glucosa, esto es debido a que los ácidos grasos pasan a la sangre y se oxidan, y la tasa máxima de resíntesis de ATP es de 0,40 mol/l mientras que una descomposición aeróbica o anaeróbica del glucógeno puede generar de 1 a 2 mol de ATP/mins (17) Además, a pesar de que se conserva el glucógeno en la CK, sigue habiendo una disminución de las reservas de glucógeno muscular, y una menor actividad de las enzimas glucolíticas, lo que se evidencia por una menor concentración de LA. Por lo que la HD, resultaría una gran ventaja frente a la CK en los deportes o ejercicios que requieran intensidades elevadas. Además, después de una marcada reducción de los HC durante varios días, se produce una reducción de las enzimas glucolíticas (17) que son claves en el proceso de obtención de energía en la glucólisis. Por último, el principal problema que presenta el estudio, al igual que el resto, es el tamaño muestral que es muy reducido.

4. Resumen de las conclusiones

Con el análisis de estos tres estudios, la CK puede no verse comprometida en los deportes de fuerza, y podría justificarse el empleo para la pérdida de grasa, siendo muy efectiva en deportes de categorías de peso o culturistas justo antes de la competición. En los deportes de resistencia, se obtuvieron muchos beneficios, pero la principal limitación, es que estos deportes, suelen presentar momentos de intensidades altas, y los HC siguen siendo un sustrato muy crítico, ya que, en el deporte de HIIT la reducción de HC no resultó ser un problema. Se requieren más investigaciones, con estudios de mayor duración y con mayor número de individuos para conocer con mayor profundidad los efectos bioquímicos de la CK, y que pueda ser recomendado a los deportistas, puesto que a día de hoy, no se suele recomendar esta dieta, por el bajo nivel de evidencia.

5. Nueva alternativa: ciclación de los hidratos de carbono:

Hay algunos artículos(24) que hablan acerca de un nuevo método de nutrición deportiva, que es la ciclación de los carbohidratos. Por ejemplo, semanas antes de una competición donde se requiere bajar algo de grasa corporal, la CK podría resultar una estrategia útil, sin embargo, es importante tener en cuenta las diferencias individuales ya que hay personas que no toleran bien la CK, y otras que no toleran altas ingestas de HC.

Actualmente, existen algunas estrategias dietéticas que han permitido mejorar el rendimiento con una combinación de ambas dietas. Consiste en hacer un ciclado de HC, alternando días bajos o muy bajos en HC, con otros donde su presencia es muy alta. Existen algunos protocolos que se utilizan en el deporte de competición. Uno de los más utilizados es la técnica Astrand, que data de los años 60.(25),(1) Este protocolo consiste en hacer una supercompensación de glucógeno que es una estrategia que existe para captar más glucógeno de lo que se podría en condiciones normales fisiológicas. Esto se puede lograr únicamente en momentos puntuales. Para llevar a cabo este protocolo es necesario que el deportista tenga buena adaptación a la CK.

Consiste en una fase de descarga de HC que dura de 3-4 días y hasta 7 días, para inducir una cetosis intensa. Esto hace que aumente la glucógeno sintasa que es una enzima que se mantiene muy baja cuando comemos mucho HC y en momentos de muy bajo carbohidrato aumenta para que cuando vuelva a haber HC se capte mejor. Después hay una fase de carga que dura 3 días. A pesar de todo, esto supone una elevación de peso por el aumento de agua y glucógeno por lo que se debe tener en cuenta y adaptarla en función del individuo y disciplina. (19)

6. Reflexión personal

Para terminar, creo que este enfoque nutricional se podría extrapolar al resto de la población, ya que por ejemplo en el mundo laboral los trabajos no son iguales. Algunos trabajos físicos requieren de mayor intensidad y por tanto las personas podrían beneficiarse de adaptar su alimentación en función de sus necesidades.

Sin embargo, no hay educación nutricional en la población general. Por ejemplo, en los colegios, se da educación sexual, o educación acerca de los problemas asociados al consumo de drogas, pero nunca se da educación acerca de la alimentación. Hay que priorizar la nutrición. Nos alimentamos todos los días y la mala alimentación genera muchos problemas, desde un peor rendimiento deportivo, o peor rendimiento en el trabajo, así como el desarrollo de enfermedades. Todo esto, porque las personas no tienen acceso a conocimientos sobre nutrición. Solo se habla de nutrición cuando la persona ya está enferma.

BIBLIOGRAFÍA:

- (1) Dr. Álvaro Campillo, DRA. Isabel Castaño, Marcos Vázquez, Víctor Robledo. Libro Especialista Universitario en Nutrición Deportiva. 2022 [citado 2022 Abril 15]
- (2) ¿Cómo fue el nacimiento de la agricultura? [Internet]. BLOG. 2021 [citado 2022 Mayo 9]. Disponible en: <https://www.repuestosfuster.com/blog/como-fue-el-nacimiento-de-la-agricultura/?msclkid=d0c8021bcfa911ecaa3717dda4f1643b>
- (3) Prins PJ, Noakes TD, Welton GL, Haley SJ, Esbenschade NJ, Atwell AD, et al. Las altas tasas de oxidación de grasas inducidas por una dieta baja en carbohidratos y alta en grasas, no perjudican el rendimiento de carrera de 5 km en atletas recreativos competitivos. *J Sports Sci Med* [Internet]. 2019 [citado 2022 Abril 15];18(4):738–50. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31827359/>
- (4) Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, Kunces LJ, Creighton BC, Bartley JM, et al. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism* [Internet]. 2016 [citado 2022 Abril 20];65(3):100–10. Disponible en: [https://www.metabolismjournal.com/article/S0026-0495\(15\)00334-0/fulltext](https://www.metabolismjournal.com/article/S0026-0495(15)00334-0/fulltext)
- (5) Valeria del Castillo. La alimentación del deportista. *Efedeportes.com*. [citado 2022 Abril 25]. Disponible en: <https://www.efdeportes.com/efd9/nutric9.htm>
- (6) Ostojic SM, Mazic S. Effects of a carbohydrate-electrolyte drink on specific soccer tests and performance. *J Sports Sci Med*. [Internet]. 2002 [citado 2022 Abril 15]
- (7) Casis, Óscar, Fisiología del deporte y del desarrollo, tema 4 Universidad del País Vasco, Vitoria [citado 2022 Abril 15]
- (8) Ma S, Suzuki K. Keto-adaptation and endurance exercise capacity, fatigue recovery, and exercise-induced muscle and organ damage prevention: A narrative review. *Sports* [Internet]. 2019 [citado 2022 Abril 15];7(2):40. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4663/7/2/40/htm>
- (9) McSwiney FT, Doyle L, Plews DJ, Zinn C. Impact of ketogenic diet on athletes: Current insights. *Open Access J Sports Med* [Internet]. 2019 [citado 2022 Abril 20];10:171–83. Disponible en: <https://www.dovepress.com/impact-of-ketogenic-diet-on-athletes-current-insights-peer-reviewed-fulltext-article-OAJSM>
- (10) Paoli A, Cancellara P, Pompeya P, Moro T. Dieta cetogénica e hipertrofia del músculo esquelético: ¿una relación frenética? *J Hum Kinet* [Internet]. 2019 [citado 2022 Abr 18];68(1):233–47. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2478/hukin-2019-0071>
- (11) Lima-Martínez MM, Betancourt L, Bermúdez A. Glucagón: ¿un simple espectador o un jugador clave en la fisiopatología de la diabetes? *Av diabetol* [Internet]. 2011 [citado 2022 Mayo 12];27(5):160–(7) Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-avances-diabetologia-326-articulo-glucagon-un-simple-espectador-o-S1134323011000032>
- (12) Vázquez, Marcos. 2020. Manual de Cero a Ceto capítulo 3 [citado 12 Mayo].
- (13) Bonora M, Patergnani S, Rimessi A, De Marchi E, Suski JM, Bononi A, et al. ATP synthesis and storage. *Purinergic Signal* [Internet]. 2012 [citado 2022 Mayo 3];8(3):343–57. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22528680/>

- (14) Casis, Óscar, Fisiología del deporte y del desarrollo, tema 3, Universidad del País Vasco, Vitoria [citado 2022 Abril 15]
- (15) Paoli A, Grimaldi K, D'Agostino D, Cenci L, Moro T, Bianco A, et al. La dieta cetogénica no afecta el rendimiento de la fuerza en gimnastas artísticas de élite. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2012 [citado 2022 Abr 18];9(1):34. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22835211/>
- (16). Cipryan L, Plews DJ, Ferretti A, Maffetone PB, Laursen PB. Effects of a 4-week very low-carbohydrate diet on high-intensity interval training responses. *J Sports Sci Med*. 2018;17(2):259–68.
- (17.) Zajac A, Poprzecki S, Maszczyk A, Czuba M, Michalczyk M, Zydek G. Los efectos de una dieta cetogénica sobre el metabolismo del ejercicio y el rendimiento físico en ciclistas todoterreno. *Nutrientes* [Internet]. 2014 [citado 2022 Abril 18];6(7):2493–508. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/nu6072493>
- (18). Pérez-Guisado J. Las dietas cetogénicas: fundamentos y eficacia para la pérdida de peso [Internet]. Unam.mx. [cited 2022 May 25]. Available from: <https://biblat.unam.mx/hevila/Archivoslatinoamericanosdenutricion/2008/vol58/no2/2.pdf>
- (19) Cipryan L, Plews DJ, Ferretti A, Maffetone PB, Laursen PB. Effects of a 4-week very low-carbohydrate diet on high-intensity interval training responses. *J Sports Sci Med*. 2018;17(2):259–68.
- 20 Nair KS, Welle SL, Halliday D, Campbell RG. Effect of beta-hydroxybutyrate on whole-body leucine kinetics and fractional mixed skeletal muscle protein synthesis in humans. *J Clin Invest* [Internet]. 1988 [cited 2022 May 12];82(1):198–205. Available from: <http://dx.doi.org/10.1172/JCI113570>
- (21) Vázquez Marcos. Manual de cero a ceto capítulo 4 [citado 12 Mayo].
- (17) Paoli A, Cenci L, Pompeya P, Sahin N, Bianco A, Neri M, et al. Efectos de dos meses de dieta cetogénica muy baja en carbohidratos sobre la composición corporal, la fuerza muscular, el área muscular y los parámetros sanguíneos en culturistas naturales competitivos. *Nutrientes* [Internet]. 2021 [citado 2022 Abr 18];13(2):374. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/nu13020374>
- (22).ancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull* [Internet]. 2007 [citado 2022 Mayo 12];81–82(1):209–30. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17569697/>
23. How does the keto diet affect testosterone? – [Internet]. KETO-MOJO. 2019 [citado 2022 May 25]. Available from: <https://keto-mojo.com/es/article/how-does-keto-affect-testosterone/>
- (24.) Muszalski C. Ciclado de carbohidratos [Internet]. MYPROTEIN™. 2020 [citado 2022 May 25]. Available from: <https://www.myprotein.es/thezone/nutricion/ciclado-de-carbohidratos/>
- (25).Pérez-Guisado J. Rendimiento deportivo: glucógeno muscular y consumo proteico. *Apunts Med I Esport* [Internet]. 2008 [citado 2022 Mayo 12];43(159):142–52. Disponible en : <https://core.ac.uk/download/pdf/39044073.pdf>