

Efectos fisiológicos de la suplementación con L-carnitina en el deporte

Autor: Crespo Méndez, Noelia (Graduada en Enfermería).

Público: Estudiantes de Enfermería. **Materia:** Fisiología. **Idioma:** Español.

Título: Efectos fisiológicos de la suplementación con L-carnitina en el deporte.

Resumen

La L-carnitina, es una amina cuaternaria que puede ser sintetizada en el hígado, los riñones y el tejido cerebral, encontrándose mayoritariamente en músculo esquelético. Su mayor fuente nutricional son los alimentos de origen animal y la leche materna. La L-carnitina tiene propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, protegiendo a las células de los radicales libres de oxígeno y a los tejidos del daño oxidativo. Los efectos fisiológicos de su suplementación se pueden observar en las enfermedades cardiovasculares, en insuficiencia renal y en pediatría. En esta revisión bibliográfica nos centramos en su suplementación relacionada con la práctica deportiva.

Palabras clave: L-carnitina, L-carnitina y antioxidantes, L-carnitina y deportes, L-carnitina y hemodialisis, L-carnitina y riesgo cardiovascular, L-carnitina en niños.

Title: Physiological effects of L-carnitine supplementation in sports.

Abstract

L-carnitine is a quaternary amine that can be synthesized in the liver, kidneys and brain tissue, mostly found in skeletal muscle. Its main nutritional source are animal foods and breast milk. L-carnitine has anti-inflammatory and antioxidant properties, protecting cells from oxygen free radicals and tissues from oxidative damage. The physiological effects of its supplementation can be observed in cardiovascular diseases, in renal failure and in pediatrics. In this bibliographical review we focus on its supplementation related to sports practice.

Keywords: L-carnitine, L-carnitine and antioxidants, L-carnitine and sports, L-carnitine and hemodialysis, L-carnitine and cardiovascular risk, L-carnitine and children.

Recibido 2018-07-04; Aceptado 2018-07-10; Publicado 2018-08-25; Código PD: 098022

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿Qué es la carnitina?

La L-carnitina (*Figura 1*) se encuentra fundamentalmente en el tejido muscular^{1,2}. Fue descubierta en 1905 por Krimberg y Gulewitsch³, y en 1927 se estableció su estructura química como amina cuaternaria, por su acción fisiológica⁴. Al principio fue considerada como una vitamina esencial (no sintetizada por el organismo, pero necesaria para su correcto funcionamiento). Sin embargo no lo es, ya que se sintetiza en el hígado a partir de los aminoácidos lisina y metionina (con la ayuda de hierro y vitaminas C, B₃ y B₆)³. Su nombre "formal" es: beta-hidroxi- γ -trimetilamonio, y es considerada un potente antioxidante³.

Las deficiencias de esta sustancia son muy poco frecuentes, y son debidas fundamentalmente a: fallo genético en su síntesis; mala absorción intestinal; problemas hepáticos y renales; defectos en el transporte desde los tejidos; aumento en la demanda, debido a una dieta abundante en grasa, droga o estrés. La sintomatología de la deficiencia son principalmente: fatiga muscular, calambres y envejecimiento prematuro³.

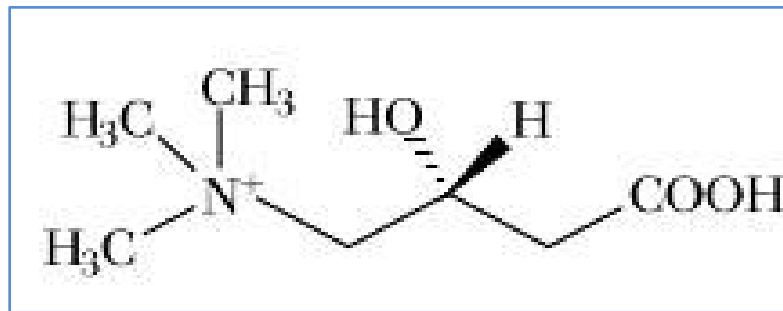


Figura 1. Estructura química de la carnitina. Tomado de Palma Chacón et al. (2010)

1.2. Biosíntesis y metabolismo de la carnitina

La L-carnitina puede ser sintetizada en el hígado, los riñones y el tejido cerebral, a partir de lisina y metionina. Sus necesidades diarias se resuelven a través de la síntesis endógena¹. Tiene un importante papel en el catabolismo de los ácidos grasos y actúa transportándolos al interior de la mitocondria⁵.

El cuerpo humano la sintetiza de manera natural para facilitar el metabolismo de las grasas y obtener así energía. Este proceso, que es conocido como β -oxidación², se produce en el interior de las mitocondrias, obteniéndose ATP⁶. La L-carnitina actúa como un complejo enzimático que se encarga del transporte de ácidos grasos a través de la membrana al citosol. Los ácidos grasos llegan en forma de acil-coA, que no pueden atravesar la membrana interna, por lo que se unen a carnitina en forma de acil-carnitina⁷ (Figura 2). Además, elimina radicales libres de oxígeno (RLO) y tiene un efecto protector en los tejidos sobre el daño oxidativo⁶.

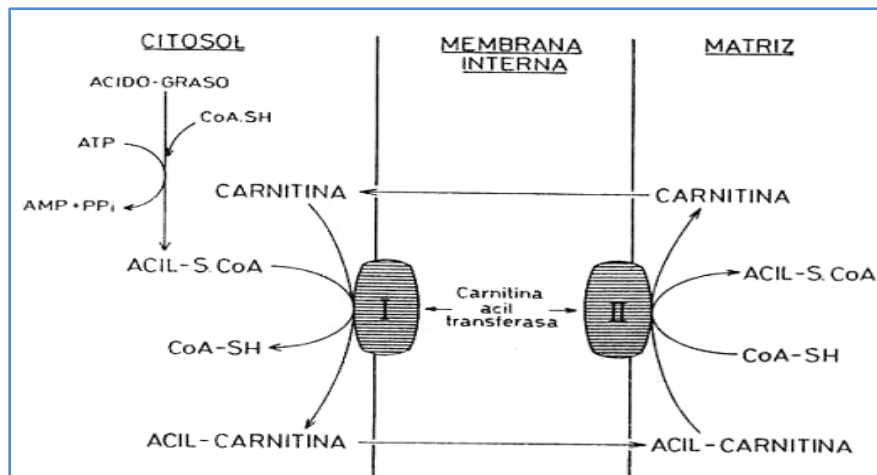


Figura 2. Metabolismo de la carnitina. Algunos ácidos grasos cruzan directamente la membrana mitocondrial interna. Sin embargo los ácidos grasos de cadena larga deben unirse a la L-carnitina. Tomado de Mella Herrera et al. (2014)

La mayoría de L-carnitina se encuentra en el interior del músculo esquelético, donde ejerce una función primordial en la oxidación de las grasas y los carbohidratos, sobre todo durante la actividad física⁸. Su administración oral tiene una biodisponibilidad muy baja, por lo que debería venir asociada a hidratos de carbono, para aumentar su retención⁸. Se absorbe en el intestino delgado y después es distribuida por todo el organismo¹.

La suplementación con L-carnitina es útil para prevenir su deficiencia y evitar el daño oxidativo, secundario, a un incremento de especies reactivas de ciertas enfermedades (diabetes, alteraciones de la tiroides, obesidad y cáncer)⁴. Además, es beneficiosa, como hemos comentado, para prevenir daños neurológicos¹.

1.3. Fuentes de carnitina

Su principal fuente nutricional son los alimentos de origen animal, sobre todo la carne (*Tabla 1*); por lo que, en general, los vegetarianos tendrían niveles inferiores de este compuesto (0,01mg/kg, frente a 1mg/kg en omnívoros)^{1,2}. También podría encontrarse en alimentos de consumo diario, como la leche y/o el queso. Una dieta equilibrada tendrá, por tanto en principio, mayor cantidad de la necesaria, entre 100 y 300 mg/día^{2,3}.

La leche materna es una importante fuente de L-carnitina, sobre todo para los recién nacidos prematuros⁹ (contiene unos 50-100nmol/ml de carnitina)¹⁰.

Tabla 1. Contenidos de carnitina, por 100 gramos de producto, en alimentos de consumo habitual. *Tomado de Bernardo García et al.*

Carne de ternera	95 mg
Carne de cerdo	27,7 mg
Bacon	23,3 mg
Pescado	5,6 mg
Pechuga de pollo	3,9 mg
Pan integral	0,36 mg
Macarrones	0,126 mg
Huevos	0,012 mg
Zumo de naranja	0,002 mg

1.4. Formas disponibles de la suplementación con carnitina

La carnitina tiene muchos beneficios, administrada como suplemento. Mejora las funciones cerebrales protegiendo las células frente al daño del estrés; mejora la memoria y la concentración; terapia del Alzheimer y recuperación tras eventos isquémicos cerebrales. Otros beneficios que tiene además son: prevención cardiovascular, tratamiento de infertilidad; neuropatía periférica diabética; tratamiento de encefalopatía hepática y/o síndrome de Fanconi¹¹.

Una de las formas disponibles para su suplementación, es la acetil L-carnitina, muy importante para la obtención de energía a través de los lípidos. Acelera el metabolismo de las grasas, por lo que se la conoce como un “quemador de grasas” durante la realización de ejercicio¹². No obstante, presenta otras muchas funciones, empleándose también en la depresión y la mejora de las funciones cerebrales (isquemia cerebral, Alzheimer, etc.)¹¹.

Sus posibles beneficios son: recuperación más rápida a nivel muscular y “orgánico”; incremento de la resistencia en la actividad deportiva; mejora de la espermatogénesis; disminución de los niveles de lípidos en sangre (mejora de los niveles de colesterol LDL). Debe tomarse en “un pico de insulina” para tener efectos “globales” sobre el organismo¹².

Se administra normalmente mediante cápsulas, cada una de las cuales contiene 650 g de acetil L-carnitina, siendo recomendable una dosis entre 2 y 6 cápsulas diarias¹², como suplemento alimenticio.

La acetil L-carnitina es otro derivado usado para el tratamiento de varias patologías (neuropatías, polineuropatía diabética y enfermedad de Parkinson). Se administra de forma intramuscular¹³.

1.5. Mecanismos protectores de la L-carnitina

1.5.1. Propiedades antiinflamatorias

Las propiedades antiinflamatorias de la L-carnitina quedan de manifiesto en pacientes sometidos a hemodiálisis¹⁴. Su administración reduce los niveles séricos de proteína C reactiva (PCR). Ciertos estudios demuestran que en estos pacientes, el tratamiento con L-carnitina les ayudó a mejorar su índice de masa corporal (IMC), promoviendo un balance de proteínas positivo¹.

Los beneficios del tratamiento con L-carnitina en pacientes con patología renal están relacionados con aspectos inflamatorios y metabólicos de la enfermedad, como veremos más adelante¹.

1.5.2. Propiedades antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que protegen a las células contra los efectos de los RLO¹⁵. Un nivel bajo de antioxidantes pueden provocar estrés oxidativo, causando oxidación de proteínas, lípidos y ADN¹⁵. Ciertos estudios sugieren la relación existente entre la presencia de estrés oxidativo y ciertas enfermedades, como la enfermedad de Parkinson, el cáncer o la infertilidad¹⁵. Además, los antioxidantes tienen un importante papel en la prevención de enfermedades crónicas¹⁵.

La L-carnitina es un potente antioxidante⁶. Elimina los RLO y protege a los tejidos del daño oxidativo. Además, tiene propiedades antioxidantes sobre el líquido seminal, mejora la movilidad de los espermatozoides, su capacidad de penetrar la membrana de los ovocitos y mejora la calidad del semen (cumpliendo una importante función sobre la fertilidad masculina, un problema importante en países desarrollados)^{6,16}.

La suplementación con L-carnitina es útil para mejorar la capacidad de oxidación de los sustratos energéticos, durante la contracción muscular asociada a la práctica deportiva⁴. También se acumula en las células endoteliales de los capilares (induciendo vasodilatación de los capilares, reduciendo la hipoxia muscular local), mejorando el transporte de oxígeno hacia los músculos y otros tejidos¹⁷.

1.6. Efectos fisiológicos de la suplementación con L-carnitina

1.6.1. L-carnitina en el ejercicio

El empleo, durante la actividad física de L-carnitina, disminuye el lactato muscular, la utilización de glucosa, el incremento de los lípidos como sustrato energético y la expresión de genes relacionados con el catabolismo lipídico⁴. Como, además, durante el ejercicio hay un aumento significativo de la liberación de hormonas, que provocan la lipólisis y el incremento de la concentración plasmática de ácidos grasos, su mayor disponibilidad aumenta su captación y el "uso" por los músculos esqueléticos⁴.

Además, los suplementos de L-carnitina durante el ejercicio disminuyen la cantidad de radicales libres, lo que tendría un efecto protector en músculos y vasos sanguíneos¹. No obstante, para conseguir el aumento significativo de su concentración en la musculatura esquelética, es necesaria la administración de al menos 2 g diarios, durante un mínimo de 4 semanas².

Una dosis alta de L-carnitina provoca una superior utilización de las grasas, lo que conduce a pérdida de masa magra, disminuye la fatiga muscular y el tiempo de recuperación después del ejercicio³.

La L-carnitina se acumula en las células endoteliales de los capilares e incrementa el transporte de oxígeno hacia los músculos provocando la vasodilatación de los capilares y reduciendo la hipoxia muscular local. También puede incrementarse el flujo sanguíneo hacia otros tejidos¹. Además, su empleo, ayuda a controlar el peso y la posibilidad de "mantenerlo"¹¹.

1.6.2. L-carnitina en las enfermedades cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de muerte en el mundo¹⁸, superando muchas otras (malaria, SIDA, tuberculosis, etc.)¹⁹, por lo que una buena "prevención secundaria" podría ser la suplementación con L-carnitina¹⁹, ya que se ha asociado con una reducción significativa de todas las causas de mortalidad, especialmente en arritmias ventriculares, angina e infarto de miocardio¹⁸. Igualmente, se ha puesto de manifiesto, que las deficiencias en L-carnitina tienen efectos adversos sobre los cardiomiocitos, que pueden derivar en cardiomiopatías, arritmias, insuficiencia cardíaca y/o fallo cardíaco¹⁹.

En pacientes con enfermedades cardíacas crónicas, su administración durante 12 meses atenúa la dilatación ventricular izquierda, previene la remodelación ventricular y reduce la incidencia de fallo cardíaco crónico y muerte¹⁹. Previene la acumulación de productos tóxicos¹⁹ y tiene una gran cantidad de beneficios si se administra tras un Infarto agudo de

miocardio (IAM), reduciendo el tamaño del infarto, las arritmias ventriculares, la dilatación del ventrículo izquierdo y la incidencia de insuficiencia cardiaca¹⁸. Incluso mejora la supervivencia de los pacientes¹⁸.

No obstante, una dosis más elevada no tendría efectos terapéuticos adicionales¹⁵.

En pacientes que tienen enfermedad arterial periférica (EAP), que presentan una disminución del flujo sanguíneo arterial, la L-carnitina actúa aumentando la disponibilidad de sustratos productores de energía⁴.

1.6.3. L-carnitina e insuficiencia renal

Los trastornos tubulares renales pueden ocasionar una secreción excesiva de carnitina, siendo muy frecuente la deficiencia secundaria en pacientes con hemodiálisis¹⁰, ya que presentan deficiencia a través de las membranas de filtración y una disminución de su tasa de síntesis¹⁰.

Asimismo, los pacientes con insuficiencia renal, que deben someterse al proceso de hemodiálisis, suelen tener, de forma habitual, *inflamación*²⁰. Se ha demostrado también que normalmente exhiben deficiencia secundaria en los niveles plasmáticos de L-carnitina¹⁰, por lo que en estos pacientes podría ser beneficioso administrarla como suplemento, ya que ciertos estudios demostraron que la misma es capaz de reducir de forma significativa la PCR plasmática y la concentración del amiloide A sérico, dos importantes “marcadores” de la presencia de inflamación²⁰.

Los pacientes que están sometidos a hemodiálisis crónica tienen una capacidad aerobia muy baja²¹, debido a las morbilidades características de su enfermedad²¹ y también a la escasa actividad física que realizan²¹. Características que podrían estar relacionadas a un déficit muscular de L-carnitina²¹.

En estos pacientes pueden presentarse “disturbios celulares” y/o “anormalidades metabólicas”, por lo que el empleo de administración exógena de L-carnitina, lograría una mejora del IMC, promoviendo un balance proteico positivo¹⁴. La suplementación con carnitina incluso mejora el perfil hematológico, aumentando el hematocrito⁴ y mejora la respuesta a la eritropoyetina¹⁴ al disminuir los niveles de la PCR, citoquina inhibidora de la eritropoyesis¹⁴.

1.6.4. L-carnitina en pediatría

Los recién nacidos, al contrario que los adultos, presentan unos niveles bajos de carnitina y una capacidad de síntesis menor¹⁰. Así, las recomendaciones internacionales de fórmulas infantiles durante el primer año de vida incluyen la complementación con carnitina, con el objetivo de conseguir niveles parecidos a los de la leche humana¹⁰. Ya que participa en ciertos procesos metabólicos⁹: control de aumento de carbohidratos sintetizados a partir de las proteínas; metabolismo proteico; disminución del colesterol y los triacilglicéridos; contractibilidad miocárdica y el desarrollo y la maduración de las estructuras cerebrales⁹.

Además, en lactantes con bajo peso, la suplementación con L-carnitina puede ser buena opción para aumentar la ganancia ponderal²², ya que a menudo sintetizan cantidades insuficientes de carnitina para cubrir sus necesidades¹⁷, aunque sean nacidos a término. Estudios probaron que los lactantes alimentados con leche de inicio suplementada con L-carnitina, presentan un menor riesgo aterogénico que los que toman leche sin la suplementación⁵.

En los niños, también puede ser frecuente el estreñimiento crónico, siendo en la mayoría de los casos, funcional, con un diagnóstico complicado y un largo tratamiento²⁴. Se demostró que niños con estreñimiento crónico idiopático, tenían mayores probabilidades de tener bajos niveles de L-carnitina que niños sanos, pudiendo, por tanto, ser útil en el tratamiento del mismo²³.

La L-carnitina también serviría para reducir la presión arterial en niños hipertensos²³, lo que es destacable ya que recientemente la hipertensión arterial está aumentando en este grupo poblacional, constituyendo un importante problema de salud pública, asociándose al daño cardiovascular posterior del adulto.

2. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Definir los principales efectos fisiológicos derivados de la suplementación con carnitina, centrándonos sobre todo, en su uso en la práctica de ejercicio.

Objetivos específicos:

- Conocer los diferentes usos de la L-carnitina, así como sus mecanismos de acción en los diferentes sistemas del cuerpo humano.
- Describir los principales mecanismos protectores de la carnitina.
- Repasar la bibliografía existente sobre sus diferentes usos y beneficios.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar los *Antecedentes* de esta revisión bibliográfica, hemos explorado en las bases de datos: *Google Académico*, *Scielo* y *Pubmed*, siendo elegidas por considerar que presentan el suficiente rigor científico para llevar a cabo la búsqueda de la información deseada. No obstante, y en el apartado de *Resultados*, únicamente analizaremos aquellos artículos obtenidos mediante la base de datos de *PubMed*, dejando las referencias que hemos encontrado en las otras bases, para la elaboración de los *Antecedentes* del presente TFG.

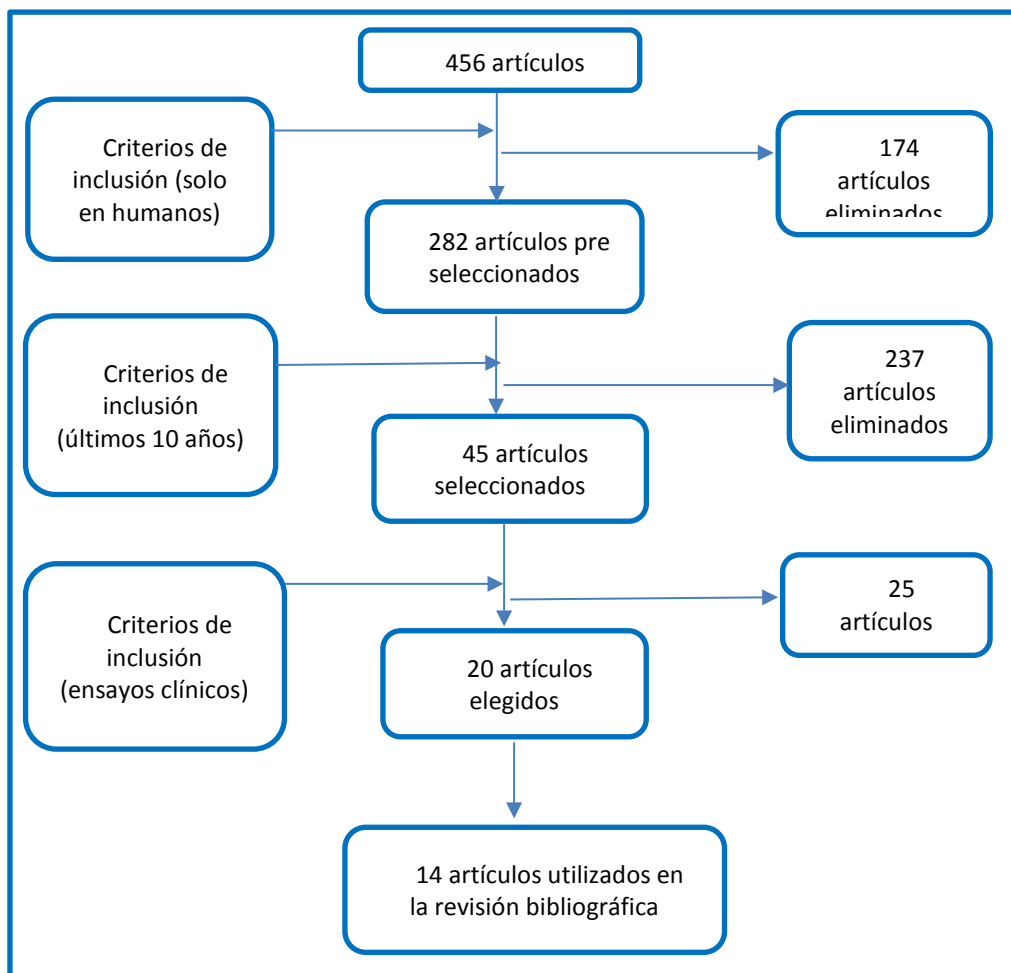


Figura 3. Diagrama de flujo sobre el proceso de selección de los artículos que hemos recopilado para su análisis posterior en los apartados de Resultados y Discusión.

Los criterios de inclusión que hemos empleado en nuestra revisión bibliográfica son:

- a. que sean ensayos clínicos,
- b. estudios realizados en humanos y
- c. estudios realizados en los últimos 10 años.
- d. artículos de libre acceso y con el texto completo disponible
- e. escritos en inglés y/o español

Mientras que los criterios de exclusión que hemos utilizado son:

- a. estudios con una antigüedad superior a 10 años y
- b. estudios realizados en otras especies animales.

En la *Figura 3* aparece reflejado un *diagrama de flujo* con el proceso de selección de los artículos que hemos finalmente seleccionado para nuestro Trabajo Fin de Grado.

Las *palabras clave* empleadas en la búsqueda de *PubMed* fueron: “L-carnitine supplementation and exercise”; “L-carnitine supplementation and sports” y “L-carnitine supplementation and physical activities”.

4. RESULTADOS

4.1. Evolución histórica del uso de la carnitina

Al inicio de la búsqueda bibliográfica sobre la carnitina, al introducir el término “carnitine”, aparece un total de 15.843 artículos relacionados con sus múltiples usos y/o beneficios fisiológicos. Dentro de todos estos artículos, el primero de ellos fue publicado en el año 1952 (volumen 35 de la revista *Archives of Biochemistry and Biophysics*), escrito por Herbert *et al.* Este artículo fue titulado: “*The identity of vitamin BT with carnitine*”. Este artículo, debido a su antigüedad, no cumple los criterios de inclusión de nuestra búsqueda bibliográfica, pero nos resulta significativo, ya que es la primera aproximación que hemos encontrado en la bibliografía en relación a la misma.

En la *Tabla 2*, se refleja una clasificación de los distintos enfoques en los que se ha venido “utilizando” las propiedades fisiológicas de la carnitina (descritas en el apartado de Antecedentes). En la misma se reflejan agrupados, según la palabra clave añadida a “L-carnitine”, el número de referencias encontradas, junto al año de publicación del primer artículo relativo al tema.

Tabla 2. Distintos ámbitos de estudio en los que se emplea la suplementación con carnitina. Se indica tanto el año de aparición de la primera publicación registrada, como el número total de las publicaciones existentes sobre el tema.

Palabras clave	Nº de publicaciones	año 1ª publicación
<i>antioxidants</i>	202	1995
<i>inflammation</i>	62	1998
<i>exercise</i>	185	1986
<i>cardiovascular risk</i>	35	1981
<i>hemodialysis</i>	150	1982
<i>pediatrics</i>	226	1980

En la misma, como podemos observar, se pone de manifiesto que la mayoría de publicaciones hacen referencia a la relación de la suplementación con L-carnitina con *pediatría*, un 26,28% del total, mostrando ser el tema más estudiado. Los aspectos relacionados con *antioxidantes* y *antiinflamatorios* se corresponden con un 30,70% (un 23,49% y un 7,21% respectivamente, de la totalidad de las publicaciones científicas). En relación con los pacientes que se someten a hemodiálisis, o que presentan riesgo cardiovascular, hemos registrado un significativo 17,44% y un 4,07% respectivamente; siendo dicha “relación” la que cuenta con el menor número de publicaciones. Finalmente y con respecto a los efectos de la suplementación con carnitina dentro de la práctica deportiva y/o la realización de ejercicio, hemos encontrado un total de 185 publicaciones, es decir un 21,51% del total. No obstante, hemos decidido centrar nuestro TFG en este contexto, fundamentalmente por motivos e intereses de índole personal.

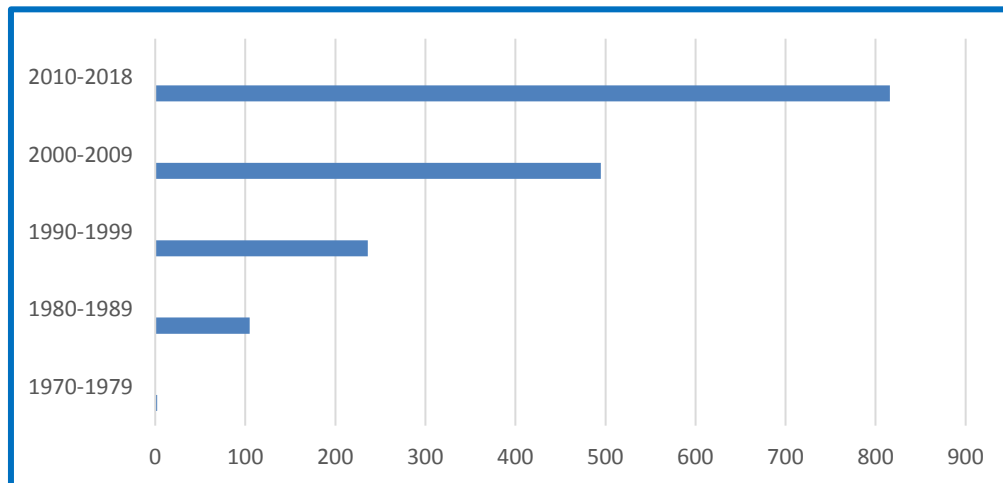


Figura 4. Evolución histórica del número de publicaciones científicas sobre la suplementación de la carnitina (Fuente: *Pubmed*)

Como podemos apreciar, en la década de los 70 y 80, los artículos que se publicaban anualmente eran escasos, habiendo ya un cambio en la década de los 90, que se acentuó a partir del año 2000, especialmente en el año 2012, cuando se cuentan un total de 101 publicaciones. Posteriormente en el año 2015, su número aumentó a 106 publicaciones, en 2016 se publicaron 90 artículos y en 2017, 103 artículos. Por tanto, teniendo en cuenta estos datos, podemos afirmar que no se trata de una línea de investigación emergente, si no que lleva empleándose varios años (ya en lo que llevamos de 2018, se han publicado un total de 57 artículos).

4.2. Suplementación con carnitina en el ejercicio

En la *Figura 5* se muestra una clasificación del tipo de artículos encontrados en *Pubmed* al realizar la búsqueda sobre la L-carnitina en el ejercicio.

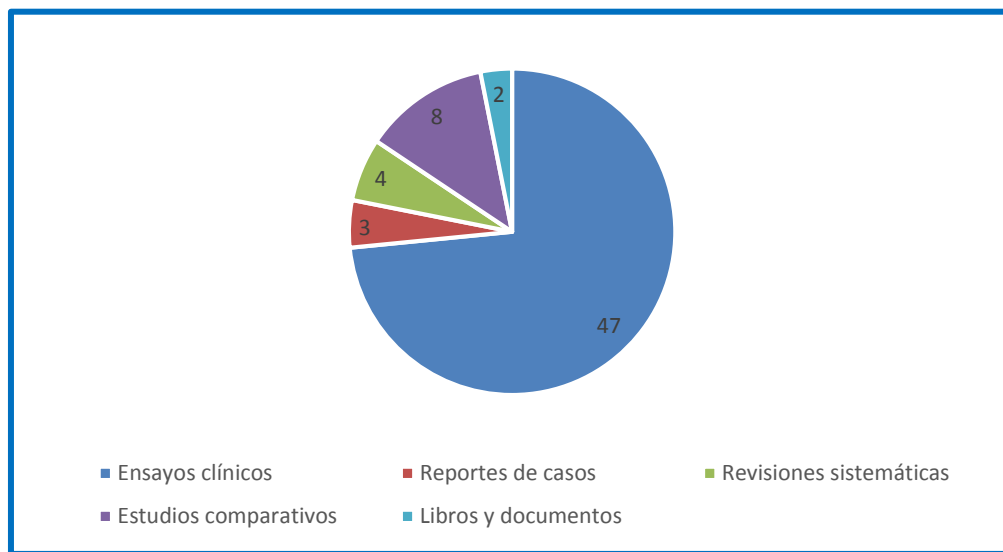


Figura 5. Clasificación, según el tipo y número de artículos, de la búsqueda bibliográfica.

Podemos apreciar que el mayor número de artículos se corresponde con ensayos clínicos llevados a cabo en humanos (un 73,4% del total), seguidas por estudios comparativos (un 12,5%). Por el contrario, no se encuentran pocos artículos de congresos, meta análisis y artículos históricos. Los demás artículos se corresponden con otro tipo de publicaciones.

En la *Figura 6* se ve reflejada la evolución histórica, registrada en los últimos 20 años, de los artículos relacionados con los efectos fisiológicos de la suplementación con L-carnitina en el ejercicio y/o el deporte. El primer artículo que se encuentra al introducir los términos “L-carnitine supplementation and sports”, evaluaba la capacidad de los atletas de una maratón tras la administración de L-carnitina.

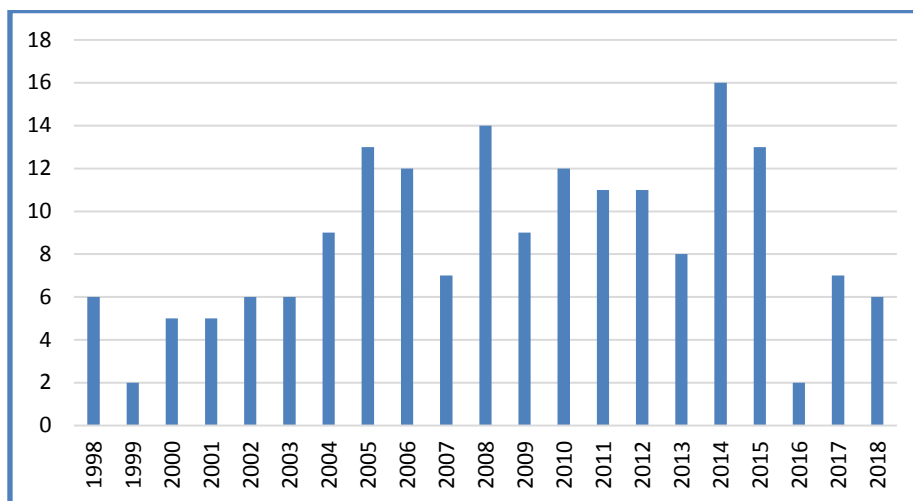


Figura 6. Evolución histórica del número de publicaciones científicas sobre el uso de la L-carnitina en el deporte (Fuente: *Pubmed*).

En la década de los 90, las publicaciones fueron escasas, contándose un total de 38 artículos. Y es a partir del año 2010, cuando parece que el tema se desarrolla y comienza a investigarse “más a fondo”. Así, el mayor número de publicaciones se alcanza en el año 2014. En lo que llevamos de año 2018, ya ha habido un total de 6 publicaciones (*Figura 6*), por lo que consideramos que es un tema vigente, sobre el que se trabaja en la actualidad.

De los 185 artículos publicados sobre el tema (*Tabla 2*), un total de 115 se refieren a estudios relativos a la especie humana, lo que supone un 62,16% del total. No obstante, si se aplica otro de nuestros criterios de inclusión, artículos publicados en los últimos 10 años, nos quedamos con un total de 42. Por último, al aplicar el criterio de inclusión de *ensayos clínicos*, reduce los artículos disponibles a un total de 20, de los cuales se han utilizado en el TFG finalmente 14, descartándose los otros 6, tras su lectura detallada, por no hacer referencia directa a la carnitina o al ejercicio.

Tras el análisis de los artículos extraídos, tal y como se pone de manifiesto en la *Tabla 3*, el 60% de los artículos indica un efecto positivo de la utilización de la L-carnitina como suplemento alimenticio, un 20% un efecto negativo y el otro 20% de las publicaciones podríamos clasificarlo como “dudoso”. En la mayoría de las investigaciones, la carnitina era administrada de forma oral, excepto en dos de ellos, en los que su administración era intravenosa, con una dosis más elevada que la administración por vía oral (80 gramos, frente a 1-4,5 por vía oral). En relación a la variabilidad de los tratamientos (su duración) la misma esta entre 3 y 24 semanas.

Tabla 3. Análisis de los resultados obtenidos en la búsqueda del uso de la carnitina en el ejercicio.

AUTORES	DOSIS	ADMON.	DURACIÓN	RESULTADO
Smith <i>et al.</i> 2008	1-3 g	oral	8 semanas	No efectivo , no habiendo resultados significativos sobre el rendimiento del ejercicio
Spiering <i>et al.</i> 2008	2 g	oral	23 días	Dudoso , resultados similares en el grupo placebo
Broad <i>et al.</i> 2008	2 g	oral	2 semanas	Efectivo , la suplementación reduce el estrés metabólico del ejercicio
Bloomer <i>et al.</i> 2009	3 g	oral	8 semanas	Dudoso , el entrenamiento físico unido a la carnitina disminuye la MDA en reposo pero tiene poco impacto en otros marcadores
Bloomer <i>et al.</i> 2009	1-3 g	oral	8 semanas	Efectivo , se disminuye la oxidación lipídica y eleva el óxido nítrico
Bloomer <i>et al.</i> 2010	4,5 g	oral	4 semanas	No efectivo , no disminuye los biomarcadores estudiados
Faria Coelho <i>et al.</i> 2010	1,8 g	oral	+30 días	No efectivo , no provocando cambios en las variables analizadas
Kraemer <i>et al.</i> 2010	2 g	oral	3 semanas	Efectivo , se reduce el daño a los tejidos tras del ejercicio y mejora la reparación del tejido muscular
Fatouros <i>et al.</i> 2010	20 mg/kg	<i>i.v</i>	8 semanas	Efectivo , mejora el estrés oxidativo, el estado antioxidante y el rendimiento
Stephens <i>et al.</i> 2011	80 g	<i>i.v</i>	24 semanas	Efectivo , se consigue una mejora en el rendimiento físico
Broad <i>et al.</i> 2011	3 g	oral	15 días	Efectivo , produciéndose cambios en el tejido metabólicamente activo

Madsen <i>et al.</i> 2013	100 mg/kg	oral	4 semanas	Dudoso , se necesitan más estudios para determinar la eficacia de la carnitina (pacientes con carencia de acil-coenzima A deshidrogenasa)
Orer <i>et al.</i> 2014	3-4 g	oral	No especificado	Efectivo , se prolonga el agotamiento
Atalay Guzel <i>et al.</i> 2015	3-4 g	oral	No especificado	Efectivo , teniendo un gran poder como antioxidante
Rafrat <i>et al.</i> 2015	2 g	oral	8 semanas	Efectivo , la administración de carnitina junto con ejercicio muestra efectos positivos

Por tanto, en las publicaciones examinadas, se demuestra que en ciertos casos la L-carnitina puede ser beneficiosa como suplemento nutricional en el deporte, pero se necesitarían más estudios para determinarlo. No obstante, el análisis pormenorizado de dichos ensayos clínicos se llevará a cabo, de manera detallada, en el siguiente apartado de *Discusión*.

5. DISCUSIÓN

En este apartado, se incluye una relación de los ensayos clínicos estudiados, valorando el efecto de la L-carnitina como suplemento nutricional en el deporte y/o la práctica de ejercicio. El primer ensayo clínico fue publicado en febrero de 2008²⁵, en el que se estudia los efectos de la carnitina asociada a un entrenamiento de resistencia en personas sanas con un rango de edad entre 18 y 44 años. Se dividió a los participantes en tres grupos. A uno de ellos se les administró un placebo, y a los otros, carnitina (1 g/día en un grupo y 3 g/día en el otro) durante 8 semanas. El resultado fue negativo, no teniendo la carnitina efectos importantes sobre el rendimiento del ejercicio.

El siguiente estudio, de julio de ese mismo año²⁶, buscaba determinar los efectos de la suplementación con carnitina en la oxigenación del tejido muscular durante y después de la realización de ejercicio en un grupo de nueve varones sanos, que habían sido previamente entrenados en resistencia. Este estudio tuvo una duración de 23 días, con dosis de 2 gramos. El resultado fue dudoso, al haberse obtenido resultados similares en el grupo placebo que también había sido incluido en el estudio.

En diciembre del mismo año²⁷ fue publicado otro estudio en el que se administraron 2 gramos de L-carnitina durante 2 semanas a veinte varones activos, que se ejercitaron tras 2 días de dieta, antes y después de la suplementación con carnitina. Este estudio afirma que esta suplementación no afecta a la contribución de grasas, proteínas y carbohidratos al metabolismo durante el ejercicio. No obstante, si podría reducir el estrés metabólico producido.

En marzo de 2009²⁸ se investigó la eficacia del entrenamiento con L-carnitina durante 8 semanas en 32 personas, con placebo y doble ciego, realizándose pruebas de ejercicio aeróbico y anaeróbico. El resultado fue dudoso, ya que el ejercicio físico junto con la suplementación con carnitina disminuyó la concentración de malondialdehído (MDA) en reposo, aunque tiene poco impacto en los otros marcadores de estrés oxidativo analizados.

La eficacia de la L-carnitina con respecto a personas no entrenadas al realizar ejercicio aeróbico, mediante la suplementación de 1 ó 3 gramos/diarios durante 8 semanas, fue determinada en un estudio publicado en mayo de 2009²⁹. El resultado fue positivo, disminuyendo la peroxidación lipídica y elevando el óxido nítrico. No obstante, con respecto a sujetos con niveles “normales” de lípidos, se demostró que no mejoraba los perfiles lipídicos en sangre.

En enero de 2010³⁰ Bloomer *et al.*, investigó acerca de la administración de 4,5 gramos de L-carnitina, vía oral, durante un tiempo total de 4 semanas a hombres entrenados. El resultado indicado por los autores, puede considerarse negativo, al no verse un aumento de los biomarcadores estudiados (MDA y peróxido de hidrógeno entre otros).

En agosto del mismo año³¹ se estudió el efecto de la suplementación de 2 g diarios de L-carnitina en personas de mediana edad, con respecto a su rendimiento y recuperación tras la realización de ejercicio físico, durante un periodo de 3

semanas. El resultado fue positivo, demostrándose que la L-carnitina puede reducir el daño tisular tras la realización del ejercicio, mejorando también su reparación.

Los efectos de la suplementación con L-carnitina en el rendimiento del ejercicio en pacientes sometidos a hemodiálisis se investigaron en octubre de 2010³². Para ello, dichos pacientes recibieron 20 mg/kg de L-carnitina, de forma intravenosa durante 8 semanas. El resultado fue positivo, mejorándose el estado antioxidante, el estrés oxidativo y el rendimiento en estos pacientes.

En febrero de 2011³³, en el trabajo de Wall *et al.*, fueron administrados 80 gramos de carnitina, a 14 personas sanas, dos veces al día, durante un periodo de 24 semanas, de forma intravenosa. El resultado fue positivo, aumentándose no solo, el rendimiento durante la práctica de ejercicio físico, sino también la “producción laboral” de dichos sujetos.

En octubre del mismo año³⁴, se valoró el efecto de la suplementación con 3 gramos de L-carnitina a un grupo de atletas masculinos durante 15 días. No hubo diferencias significativas entre el grupo placebo y el grupo estudiado. Se puso de manifiesto un aumento de la oxidación de grasas y carbohidratos. Por tanto, se consideró que la L-carnitina induce pequeños cambios en tejidos activos metabólicamente al aumentar la disponibilidad de ácidos grasos, aunque no afecta la utilización de sustratos al realizar ejercicio de corta duración.

En abril de 2013³⁵, un estudio trató de valorar el empleo de L-carnitina en pacientes con deficiencia de acil-coenzima A deshidrogenasa de cadena media. Para ello se eligieron 11 sujetos sanos y no entrenados que consumieron 100 mg/kg al día durante 4 semanas, realizando las mismas pruebas físicas antes y después. El resultado de este estudio fue dudoso, ya que la oxidación de ácidos grasos fue similar en estos pacientes y en el grupo placebo.

En febrero de 2014³⁶ un estudio examinó la L-carnitina en el rendimiento deportivo de 26 futbolistas. A un grupo se le administraron 3 g y al otro 4 g. A un tercer grupo, se le administró un placebo. Se realizaron pruebas físicas al inicio, que se repitieron al cabo de 1 semana, notándose una diferencia entre grupos y demostrándose por tanto, que la L-carnitina resulta beneficiosa para retrasar el agotamiento durante la realización de ejercicio.

En febrero de 2015³⁷ se trató de investigar acerca de los efectos de la L-carnitina en relación con el estrés oxidativo tras la realización de un ejercicio exhaustivo. Fueron administrados 3 o 4 gramos de L-carnitina oral, durante un periodo de tiempo no especificado, mientras que a otro grupo se le administró un placebo. El resultado se puede considerar positivo, demostrándose que la L-carnitina, en dosis de 3 gramos, tiene un gran poder antioxidante.

En noviembre de ese mismo año³⁸ se evaluó el efecto de la suplementación con L-carnitina, junto con la realización de ejercicio físico, en un grupo de mujeres sanas con obesidad, con la finalidad de determinar los parámetros inflamatorios. Para ello, se les administraron 2 gramos/día de L-carnitina durante 8 semanas. Aunque no hubo efectos sobre el peso corporal ni otros parámetros, el efecto fue positivo, mejorándose los marcadores de inflamación de estas mujeres.

6. CONCLUSIONES

Basándonos en los objetivos planteados al inicio, y teniendo en cuenta los resultados que hemos obtenido, hemos podido alcanzar las siguientes *Conclusiones*:

1. La suplementación con L-carnitina es eficaz en la realización de ejercicio físico, reduciendo el estrés metabólico y el daño tisular que se produce durante la realización del mismo. Además, mejora el estado antioxidante, el estrés oxidativo, el rendimiento y retrasa la aparición del agotamiento.
2. Es necesario la realización de más estudios, ya que tan solo un 60% de los estudios analizados, muestran resultados positivos, teniendo los restantes estudios, resultados negativos o dudosos (20% y 20%).

En conclusión, la L-carnitina resulta beneficiosa como suplemento en la realización de ejercicio físico. No obstante, no todos los estudios tuvieron resultados positivos (solo un 60% de los artículos revisados), por lo que deberían hacerse más estudios sobre este tema.

Bibliografía

1. Llamas Dios J. L-carnitina como suplemento nutricional en el deporte [Internet]. Universidad de Zaragoza. 2014 [consultado 26/11/2017]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/15188#>
2. Sánchez P. L-carnitina ¿es un suplemento eficaz? *Mundo Entrenamiento*. 2014 [consultado 28/11/2017]. Disponible en: <https://mundoentrenamiento.com/l-carnitina-es-un-suplemento-eficaz/>
3. Gómez Campos R. (2009). La carnitina como suplemento nutricional. *Revista de Educación Física de Chile*; 80(268): 23-28.
4. Rodríguez Rodríguez F.J. Consideraciones sobre la ingesta de carnitina y su influencia en el metabolismo del tejido adiposo. [Internet]. *PubliCE*. 2006 [consultado 1/12/2017]. Disponible en: <https://g-se.com/consideraciones-sobre-la-ingesta-de-carnitina-y-su-influencia-en-el-metabolismo-del-tejido-adiposo-737-sa-457cfb2717ce48>
5. Fontana Gallego L., Sáez Lara M.J., Santisteban Bailón R., Gil Hernández, A. (2006). Compuestos nitrogenados en nutrición clínica. *Nutrición Hospitalaria*; 21(2): 15-29.
6. Ussher J.R., Lopaschuk G.D., Arduini A. (2013). Gut microbiota metabolism of carnitine and cardiovascular risk. *Atherosclerosis*. 231(2):456-61.
7. Ribas S.G., Vargas R.C., Wajner M. (2014). L-carnitine supplementation as a potential antioxidant therapy for inherited neurometabolic disorders. *Gene.*; 533(2): 469-76.
8. Burke L.M., Castell L.M., Stear S.J., Rogers P.J., Blomstrans E., Gurr, S. et al. Revisión BJSM: A-Z de los suplementos nutricionales: suplementos dietarios, alimentos para la nutrición deportiva y ayudas ergogénicas para la salud y el rendimiento parte 4. *PubliCE*; 2016 [consultado 20/01/2018]. Disponible en: <https://g-se.com/revisiones-bj-sm-a-z-de-los-suplementos-nutricionales-suplementos-dietarios-alimentos-para-la-nutricion-deportiva-y-ayudas-ergogenicas-para-la-salud-y-el-rendimiento-parte-6-2067-sa-457cfb27276306>
9. Rebollo G.M.J. (2002). Suplementos nutricionales en pediatría. *Revista Chilena de Nutrición*; 29(3): 294-9.
10. Mazza F. (2014). Acetil-L-carnitina. *Gaiamed*; 2014. [consultado 20/01/2018]. Disponible en: <http://www.gaiamed.it/acetil-l-carnitina/>
11. Ortiz García E. (2015). Trabajo de Fin de Grado: revisión bibliográfica. Universidad Miguel Hernández Elche; 2015 [consultado 22/01/2018]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2013/1/Estrella%20Ortiz%20Garc%C3%ADa.pdf>
12. Sinicropi M.S., Leone F., Rovito N., Genchi G. (2010). Behavior of acetyl-L-carnitine injections with different drugs used for combined therapy. *Advances in Therapy*; 27(8): 547-54.
13. Savica V., Calvani M., Benatti P., Santoro D., Monardo P., Peluso G., et al. (2004). Carnitine system in uremic patients: molecular and clinical aspects. *Seminars in Nephrology*; 24(5): 464-8.
14. López L.A., Lazarova Z., Rómulo B.V., Sánchez S.H. (2012). Antioxidantes, un paradigma en el tratamiento de enfermedades. *Revista Anacem*; 6(1): 48-53.
15. Mata González E., Mach N. (2013). La ingestión de L-carnitina puede reducir la infertilidad masculina. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*; 19(3): 172-3.
16. Hakkinen K., Kraemer W.J., Newton R.U., Volek J.S., Gómez A.L., Rubin M.R, et al. Efectos de la suplementación con L-carnitina L-tartrato sobre las respuestas hormonales al entrenamiento de sobrecarga y la recuperación [Internet]. *Publice*; 2003. [consultado 25/01/2018]. Disponible en: <https://g-se.com/efectos-de-la-suplementacion-con-l-carnitina-l-tartrato-sobre-las-respuestas-hormonales-al-entrenamiento-de-sobrecarga-y-la-recuperacion-754-sa-l57cfb2717ff93>
17. Dinicolantonio J.J., Niaz A.K., McCarty M.F., Liberopoulos E., O'Keefe J.H. (2014). L-carnitine for the treatment of acute myocardial infarction. *Cardiovascular Medicine*; 15 (1): 52-62.
18. Shang R., Sun Z., Li H. (2014). Effective dosing of L-carnitine in the secondary prevention of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cardiovascular Disorders*; 14(88): 1-2.
19. Khalatbari-Soltani S., Tabibi, H. (2015). Inflammation and L-carnitine therapy in hemodialysis patient: a review. *Clinical and Experimental Nephrology*; 19(3): 331-5.
20. Pacheco A., Torres R., Sanhueza M.E., Elgueta, L., Segovia, E., Cano M. (2008). Estudio exploratorio de la capacidad aerobia en pacientes en hemodiálisis: efecto de la suplementación con L-carnitina. *Revista Medicina Clínica*; 130(12): 441-5.
21. Lacera Rua A. (2004). Roles alimenticios y metabólicos de la taurina y la L-carnitina. *Revista Intropica*; 108(1): 105-20.
22. Kepka A., Kuroczycka-Saniutycz E., Chojnowska S., Filonowicz R., Korzeniecka-Kozerska A., Wasilewska A. (2015). Urine L-carnitine excretion in hypertensive adolescents. *Irish Journal of Medical Science*; 184(1): 219-25.

23. Angulo N., Rincones M.T., Castro de Kolster C., Kolster J., Callegari, C. (2006). Efecto de la L-carnitina exógena en niños con estreñimiento crónico. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud - Universidad de Carabobo*; 10(2): 1-2.
24. Gohil K., Packer L., de Lumen B., Brooks G.A., Terblanche S.E. (1986). Vitamin E deficiency and vitamin C supplements: exercise and mitochondrial oxidation. *Journal of Applied Physiology*; 60(6): 1986-91.
25. Smith W.A., Fry A.C., Tschume L.C., Bloomer R.J. (2008). Effect of glycine propionyl-L-carnitine on aerobic and anaerobic exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*; 18(1): 19-36.
26. Spiering B.A., Kraemer W.J., Hatfield D.L., Vingren J.L., Fragala M.S., Ho J.Y., et al. (2008). Effects of L-carnitine L-tartrate supplementation on muscle oxygenation responses to resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*; 22(4): 1130-5.
27. Broad E.M., Maughan R.J., Galloway S.D. (2008). Carbohydrate, protein, and fat metabolism during exercise after oral carnitine supplementation in humans. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*; 18(6): 567-84.
28. Bloomer R.J., Smith W.A. (2009). Oxidative stress in response to aerobic and anaerobic power testing: influence of exercise training and carnitine supplementation. *Research in Sports Medicine*; 17(1): 1-16.
29. Bloomer R.J., Smith W.A., Tschume L.C. (2009). Glycine propionyl-L-carnitine modulates lipid peroxidation and nitric oxide in human subjects. *International Journal of Vitamin and Nutrition Research*; 79(3): 131-41.
30. Bloomer R.J., Smith W.A., Fisher-Wellman K.H. (2010). Oxidative stress in response to forearm ischemia-reperfusion with and without carnitine administration. *International Journal of Vitamin and Nutrition Research*; 80(1): 12-23.
31. Ho J.Y., Kraemer W.J., Volek J.S., Fragala M.S., Thomas G.A., Coday M., et al. (2010). L-carnitine L-tartrate supplementation favorably affects biochemical markers of recovery from physical exertion in middle-aged men and women. *Metabolism*; 59(8): 1190-9.
32. Fatouros I.G., Douroudos I., Panagoutsos S., Pasadakis P., Nikolaidis M.G., Jamurtas A.Z., et al. (2010). Effects of L-carnitine on oxidative stress responses in patients with renal disease. *Medicine & Science in Sports & Exercise*; 42(10): 1809-18.
33. Wall B.T., Stephens F.B., Constantin-Teodosiu D., Marimuthu K. Macdonald I.A., Greenhalf P.L. (2011). Chronic oral ingestion of L-carnitine and carbohydrate increases muscle carnitine content and alters muscle fuel metabolism during exercise in humans. *The Journal of Physiology*; 589(4): 963-73.
34. Broad E.M., Maughan R.J., Galloway S.D. (2011). Effects of exercise intensity and altered substrate availability on cardiovascular and metabolic responses to exercise after oral carnitine supplementation in athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*; 21(5): 385-97.
35. Madsen K.L., Preisler N., Orngreen M.C., Andersen S.P., Olesen J.H., Lund A.M., et al. (2013). Patients with médium-chain acyl-coenzyme a dehydrogenase deficiency have impaired oxidation of fat during exercise but no effect of L-carnitine supplementation. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*; 98(4): 1667-75.
36. Orer G.E., Guzel N.A. (2014). The effects of acute L-carnitine supplementation on endurance performance of athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*; 28(2): 514-9.
37. Atalay Guzel, N., Erikoglu Orer G., Sezen Bircan F., Coskun Cevher S. (2015). Effects of acute L-carnitine supplementation on nitric oxide production and oxidative stress after exhaustive exercise in Young soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 55(1-2): 9-15.
38. Rafraf M., Karimi M., Jafari A. (2015). Effect of L-carnitine supplementation in comparison with moderate aerobic training on serum inflammatory parameters in healthy obese women. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 55(11): 1363-70.