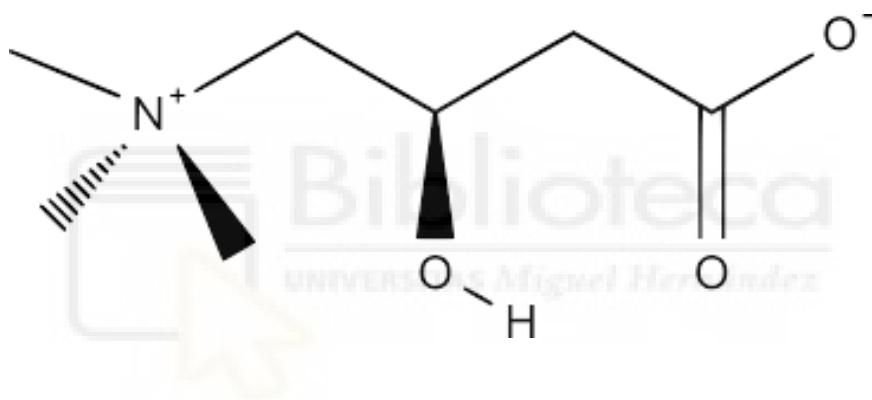


L-CARNITINA COMO SUPLEMENTO DEPORTIVO



Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Universidad Miguel Hernández de Elche.

Curso académico 2023-2024.

Alumno: Manuel Martínez Ruiz

Tutor Académico: Enrique Roche Collado

ÍNDICE

CONTEXTUALIZACIÓN	2
Qué es la L-carnitina.	2
Síntesis, disposición, reservas y fuentes.	2
Nivel.	3
Funciones.	3
Transporte de acidos grasos.	3
Modulación acetil-CoA.	4
Almacenamiento.	5
Suplementación.	5
OBJETIVO	5
PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA)	6
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (DESARROLLO)	7
Tabla de resultados.	7
Limitaciones de los estudios.	9
DISCUSIÓN	9
Propiedades de la suplementación con L-carnitina	9
Capacidad antioxidante	9
Reducción del daño muscular	9
Reducción de lactato	10
Mayor eficiencia en la recuperación muscular	11
Percepción fatiga/esfuerzo	11
Rendimiento y suplementación con L-carnitina	12
Resultados contradictorios	12
CONCLUSIÓN	13
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	13
BIBLIOGRAFÍA	15
ANEXOS	18

CONTEXTUALIZACIÓN

Qué es la L-carnitina.

La L-carnitina (3-hidroxi-4-trimetilaminobutirato) es una molécula clave en el metabolismo de las grasas, ya que facilita el transporte de ácidos grasos de cadena larga a las mitocondrias, donde ocurre la beta-oxidación, un proceso fundamental para la generación de energía. La L-carnitina actúa mediante la acetilación de su grupo β -hidroxilo, formando un complejo con el acil-CoA, conocido como carnitina-acil-CoA.

Este complejo carnitina-acil-CoA es reconocido por transportadores específicos asociados a la membrana interna de la mitocondria. Estos transportadores permiten que el complejo carnitina-acil-CoA sea transportado a través de la membrana mitocondrial interna hacia la matriz mitocondrial, donde se lleva a cabo la beta-oxidación de los ácidos grasos de cadena larga.

Una vez en la matriz mitocondrial, los ácidos grasos de cadena larga son sometidos al proceso de beta-oxidación, que consiste en una serie de reacciones enzimáticas que descomponen los ácidos grasos en unidades más pequeñas, generando acetil-CoA y produciendo moléculas de ATP, la principal fuente de energía celular.

Este proceso es fundamental para la generación de energía a partir de las grasas, especialmente durante períodos de ejercicio intenso o en situaciones de demanda energética elevada (1).

Síntesis, disposición, reservas y fuentes.

Se ha estimado que el 75% de los niveles totales de carnitina en el organismo provienen de la dieta. Las principales fuentes de L-carnitina son los alimentos de origen animal, como la carne roja, el pescado y los productos lácteos (7). En términos de alimentos vegetales, el aguacate y los espárragos son las únicas fuentes vegetales destacadas de L-carnitina. En general, los alimentos de origen animal son mucho más ricos en L-carnitina que los alimentos de origen vegetal. Para los vegetarianos estrictos y los vegetarianos lacto-ovo, que consumen poca o ninguna carne, la síntesis endógena de L-carnitina puede ser insuficiente y, en esos casos, la suplementación puede ser considerada (4).

El proceso de síntesis de L-carnitina comienza con la conversión de aminoácidos esenciales, como la lisina y la metionina, en trimetil lisina (TML), que tras varios procesos se convierte en butirobetaína (BB). La carnitina se sintetiza a partir de la hidroxilación de BB, un proceso restringido principalmente al hígado y, en menor medida, en los riñones y el cerebro. Se distribuye en los tejidos a través de sistemas de transporte activo, con una concentración más alta en los tejidos que en la sangre. (1)

La biosíntesis endógena solo satisface aproximadamente el 25% de las necesidades diarias de L-carnitina, lo que hace necesario su suplementación a través de la dieta o suplementos nutricionales.

Las reservas de carnitina consisten en moléculas no esterificadas (carnitina libre) y múltiples ésteres de acilcarnitina (formas unidas a diferentes ácidos grasos). Aproximadamente el 99.5% de la carnitina corporal es intracelular. La carnitina circulante en plasma representa solo el 0.5%.

Nivel.

Dado que la concentración de carnitina en los tejidos suele ser mayor que en el plasma, su distribución en el organismo está determinada por una serie de sistemas de transporte activo que funcionan en contra de un gradiente de concentración, un proceso de eflujo independiente y un mecanismo de intercambio específico para cada tipo de tejido. Bajo condiciones fisiológicas normales, la concentración de carnitina en plasma se mantiene dentro de un rango estrecho gracias a una tasa modesta de síntesis interna de carnitina, la ingesta dietética y una gestión eficiente por parte de los riñones.

Los niveles de L-carnitina en el cuerpo pueden variar dependiendo de varios factores, como la ingesta dietética, la síntesis endógena, la absorción y la excreción renal. En condiciones normales, un adulto puede sintetizar entre 11 y 34 mg de L-carnitina por día, lo que equivale a, aproximadamente, 160-480 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal. (1)

En condiciones fisiológicas normales, la reabsorción renal de carnitina es muy eficiente (90%–99% de la carga filtrada), siendo igual a la concentración normal de carnitina en plasma (aproximadamente 50 $\mu\text{mol}/\text{L}$). Cuando la carnitina en la circulación plasmática aumenta, la eficiencia de su reabsorción disminuye y su eliminación aumenta, lo que resulta en una rápida disminución de la concentración de carnitina a su nivel base. Se considera que hay deficiencia de L-carnitina cuando los niveles plasmáticos descienden por debajo de 20 $\mu\text{mol}/\text{L}$ en todas las edades. (7)

Funciones.

La función principal de la carnitina es transportar ácidos grasos de cadena larga desde el citosol hasta la matriz mitocondrial. También está involucrada en la transferencia de productos de la beta-oxidación peroxisomal (acetil-CoA) para la oxidación en el ciclo de Krebs, en la modulación de la relación acil-CoA/CoA, en el almacenamiento de energía como acetil-carnitina y en la regulación de los efectos tóxicos de grupos acilo mal metabolizados al excretarlos como ésteres de carnitina en la orina (1-6).

Transporte de ácidos grasos.

La carnitina actúa como transportador de los grupos acilo, facilitando su transporte como ésteres de carnitina a través de la membrana mitocondrial interna. El sistema mitocondrial de carnitina desempeña un papel crucial en la beta-oxidación de ácidos grasos de cadena larga, involucrando enzimas como la carnitina palmitoiltransferasa-I (CPT-I) y la carnitina palmitoiltransferasa-II (CPT-II) en las membranas mitocondriales, para la conversión de los ácidos grasos activados en energía en forma de ATP.

Las membranas mitocondriales son impermeables a los ésteres de coenzima A (CoA) y ácidos grasos de cadena larga. Por lo tanto, la L-carnitina se une a grupos acetilo a través de la carnitina aciltransferasa, facilitando el transporte de ácidos grasos acetilados a las mitocondrias para la β -oxidación, lo que conduce a la producción de ATP en el ciclo de Krebs y cadena respiratoria mitocondrial. (4)

En primer lugar, la L-carnitina actúa como un transportador crucial, al facilitar la entrada de los ácidos grasos de cadena larga a través de la membrana mitocondrial externa mediante la enzima CPT-1 (6). Posteriormente, la CPT-II los introduce dentro de la matriz mitocondrial. Una vez dentro de la matriz mitocondrial, los ácidos grasos son convertidos en acil-CoAs, lo que les permite participar en la vía de la β -oxidación para generar energía en forma de ATP. Este proceso de transporte y oxidación de ácidos grasos es fundamental para mantener un suministro continuo de energía durante la actividad física, sobre todo de tipo aeróbico, contribuyendo así al rendimiento muscular y al metabolismo energético (1-7).

Durante el ejercicio físico, la regulación de la oxidación de ácidos grasos en el músculo esquelético está influenciada por la disponibilidad de carnitina libre. Cuando hay un aumento en el flujo glucolítico, como durante el ejercicio de alta intensidad, se produce un aumento en los niveles de piruvato y acetil-CoA mitocondrial. Este exceso de acetil-CoA puede unirse a la carnitina, formando acetil-carnitina, lo que puede limitar la actividad de la carnitina palmitoiltransferasa-1 (CPT-1). Por otro lado, durante el ejercicio de menor intensidad o prolongado, el flujo glucolítico reducido permite la preservación de la carnitina libre, que luego puede ser utilizada para el transporte y oxidación de ácidos grasos. Por lo tanto, la disponibilidad de carnitina libre en el músculo influye en la selección de fuentes de combustible durante el ejercicio (2).

Modulación acetil-CoA.

La L-carnitina desempeña un papel vital en el amortiguamiento de la relación CoA/acetil-CoA libre, especialmente en condiciones de estrés con formación excesiva de acil-CoA, donde la transesterificación con L-carnitina ayuda en el movimiento de sustratos dentro del ciclo de Krebs. (1-4)

Durante el ejercicio de alta intensidad, hay una producción significativa de acetil-CoA a través de la glucólisis rápida. Estas moléculas de acetil-CoA ingresan a la matriz mitocondrial y superan la utilización dentro del ciclo de los ácidos tricarboxílicos (TCA). En este escenario, la L-carnitina regula la proporción de CoASH a acetil-CoA. A través de la acción de la carnitina aciltransferasa (CAT), la L-carnitina libre se combina con una molécula de acetil-CoA para formar acetil-L-carnitina. Esta reacción aumenta los niveles de CoASH, que luego pueden ser utilizados en la generación de ATP, como a través del ciclo TCA. (6)

Niveles elevados de acetil-CoA pueden interferir con la conversión de piruvato en acetil-CoA al suprimir el aumento mediado por la L-carnitina.

Almacenamiento.

La L-carnitina puede almacenar energía en forma de acetil-carnitina, que actúa como un reservorio de acetil-CoA. Esta forma de almacenamiento de energía puede ser utilizada cuando se requiere una rápida disponibilidad de acetil-CoA para procesos metabólicos.

ROS (Sustancias Reactivas del Oxígeno)

La producción de ROS durante el ejercicio está asociada con fatiga muscular durante la contracción y con daño muscular postejercicio. El exceso de producción de ROS puede disminuir la capacidad de resistencia muscular, contribuyendo a la fatiga.

La L-carnitina, a pesar de su papel en el metabolismo de los ácidos grasos, que puede llevar a la formación de sustancias reactivas de oxígeno (ROS), ayuda a regular la producción y señalización de ROS, proporcionando efectos protectores en condiciones de estrés oxidativo. Además, la administración de L-carnitina durante el ejercicio puede mejorar la síntesis de ATP, eliminar ROS, activar antioxidantes endógenos y mejorar la eficiencia de la contracción muscular, retrasando la fatiga y mejorando el rendimiento. En general, las propiedades antioxidantes de la L-carnitina la convierten en un compuesto valioso para combatir el estrés oxidativo y promover la salud y el rendimiento general. (1)

Suplementación.

Se postula que el aumento de las reservas de carnitina muscular mediante la suplementación con L-carnitina podría ahorrar glucógeno, a través de una mayor oxidación de grasas en intensidades de ejercicio más bajas (2,5), promover una oxidación de carbohidratos más eficiente y una reducción de la acumulación de lactato en intensidades más altas, retrasando el inicio de la fatiga durante actividades basadas en resistencia (3). También atenuaría los efectos secundarios del entrenamiento de alta intensidad, al reducir la magnitud de la hipoxia inducida por el ejercicio y la lesión muscular, lo que puede contribuir a una mejor recuperación (1,7). Por último, se ha sugerido que la suplementación con L-carnitina puede ahorrar el uso de aminoácidos como fuente de energía, lo que los hace potencialmente disponibles para la síntesis de nuevas proteínas. (4)

OBJETIVO

Repasar la bibliografía existente sobre la suplementación con L-carnitina en el ámbito deportivo, con el objetivo de esclarecer la controversia en torno a sus potenciales beneficios fisiológicos en la práctica de ejercicio físico.

PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA)

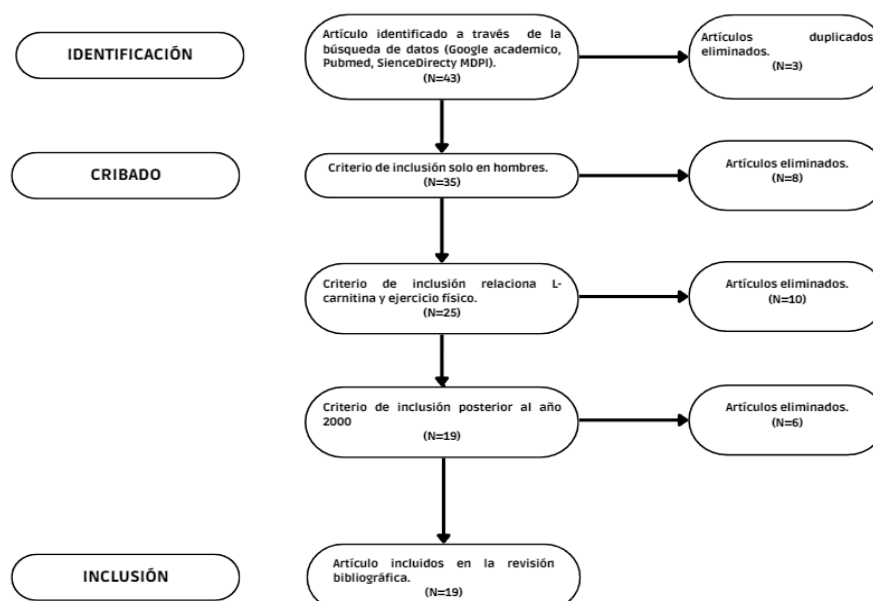
Esta revisión sistemática ha sido realizada siguiendo el protocolo PRISMA, un sistema que consiste en una lista de comprobación de requisitos que debe cumplir una revisión sistemática y un metaanálisis de ensayos clínicos para presentar la información. Fue publicada en 2009 y actualizada en 2020 con el objetivo de ayudar a los autores de revisiones sistemáticas a documentar de manera transparente el porqué de la revisión, qué hicieron los autores y qué encontraron (8).

Se llevó a cabo una revisión sistemática exhaustiva de 23 estudios científicos publicados en revistas especializadas con el objetivo de evaluar los efectos de la suplementación con L-carnitina en deportistas. La búsqueda de artículos se realizó en bases de datos reconocidas como PubMed, Google Académico, ScienceDirect y MDPI. Para identificar los estudios relevantes, se emplearon descriptores de búsqueda específicos en inglés (idioma en el que se encontraban los artículos seleccionados): "L-carnitine", "supplementation", "athletes" y "physical exercise".

Tras la selección de las palabras clave y realizar la búsqueda a través de distintas bases de datos, se analizaron un total de 48 artículos. Todos los títulos y resúmenes de la búsqueda se separaron para identificar duplicados. La idoneidad de los artículos se evaluó según el nivel de evidencia (9).

Una vez seleccionados, se aplicaron tres filtros para garantizar la relevancia y validez de los estudios. El primer filtro descartó aquellos artículos que trataban la suplementación en animales y no en humanos. Para el segundo filtro, se excluyó todos aquellos artículos que no relacionaban la suplementación de L-carnitina con el deporte, es decir, estudiaban solo la suplementación sin realizar ningún tipo de ejercicio físico o trataban otro tipo de suplementación. Como último filtro, se eliminó aquellos ensayos anteriores al año 2000. Se analizaron ensayos clínicos controlados, aleatorizados, doble ciego, paralelos y cruzados.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de identificación de los artículos relevantes.



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (DESARROLLO)

Tabla de resultados.

Ref	Compuesto	Dosis diaria, tiempo suplementación y duración ensayo	Sujetos	Edad	Protocolo	Resultados
10	L-carnitina	1,5 g / 8 semanas	42 adultos sanos sedentarios	55-70 años	Medición tras 8 semanas: Escáneres DXA (masa corporal) Dinamometría (fuerza muscular extremidades superiores e inferiores) Análisis de sangre Biopsia (biomarcadores proteicos) Calidad de vida	Lcar.g ↑ no sig masa muscular magra y fuerza extremidades inferiores, ↑ vía mTOR, ↑ presión diastólica (rango saludable), = presión sistólica, IMC y peso, = caminata, calidad de vida COMg ↑ sig masa muscular magra, ↑ fuerza extremidades inferiores y superiores, ↑ vía mTOR, ↑ presión sistólica, composición corporal
11	L-carnitina	2 g / 9 semanas	23 varones sanos y 1 año de experiencia	18-40 años	Medición semanas 3, 6 y 9 DXA (composición corporal) Análisis de sangre (estrés oxidativo) tras entrenamiento de resistencia Press banca y pierna (fuerza muscular) Wingate (potencia anaeróbica)	↑ vol levantamiento press banca, ↑ potencia media y máxima press pierna, ↓ lactato en sangre post ejercicio, ↑ capacidad antioxidante, = composición corporal, peso, masa grasa y masa magra
12	L-tartrato de L-carnitina	1,5 g antes, durante y después de las pruebas	16 jugadores de fútbol amateur	24 años ± 3,7	Mediciones pre.ej, post.ej, post 1h y post 24hs. Escala Borg (percepción de fatiga) Análisis de sangre (daño muscular y marcadores inmunológicos) tras HITT	↓ percepción de fatiga, ↓ concentración mioglobina post 1 hora, cambios índices inmunológicos CH g ↓ concentración neutrófilos
13	L-tartrato de L-carnitina	2 g, 2 veces al día / 24 semanas	14 triatletas amateur	25,9 años ± 2,1	Mediciones semana 0, 12 y 24. Cicloergómetro incremental test, análisis de gases (VO2máx) Escala Borg (percepción de fatiga) Análisis de sangre (glucosa, carnitina e insulina en sangre) tras el entrenamiento de resistencia	No cambios en masa corporal, = niveles glucosa en sangre venosa e insulina en ayunas, ↑ carnitina y acetilcarnitina en músculo, ↑ carnitina libre, ↓ percepción del esfuerzo, ↑ glucógeno muscular, ↓ uso de glucógeno muscular, ↓ acumulación de lactato, ↑ Pcr/ATP en músculo, ↓ activación complejo piruvato deshidrogenasa
14	Propionil L-carnitina + Glicina	3 g + 1 g / 4 semanas	15 hombres sanos y entrenados en act. de resistencia	24 años ± 4	Mediciones a los 0, 3 y 10 min de su rutina de ejercicios. Análisis de sangre (nitrito en plasma)	↑ niveles óxido nítrico en plasma, ↑ flujo sanguíneo músculos activos, sujetos no respondedores
15	Propionil L-carnitina + Glicina	4,5 g antes de cada prueba / 2 semanas	24 hombres sanos y entrenados en act. de resistencia	25,2 años ± 3,6	5 y 10 primeros segundos del HITT: SMI OptoSensor 2000 (potencia anaeróbica, pico de potencia, potencia media, decremento potencia media) Pre y post: Accutrend (lactato en sangre) Polar (FC) Pre y 4 min post: cinta métrica (circunferencia muslo)	↑ pot anaeróbica, ↑ pot pico, ↓ lactato sangre No cambio: FC, circunferencia muslo
16	Propionil L-carnitina + Glicina	1 g o 3 g / 8 semanas	32 hombres y mujeres	20-40 años	MDA, H2O2, XO (estrés oxidativo) Ciclo Wingate y GXT (potencia aeróbica y anaeróbica) antes y después de la prueba aeróbica	↓ MDA, poco efecto H2O2 y XO. Estrés oxidativo ↑ de forma similar en potencia aeróbica y anaeróbica
17	Propionil L-carnitina	2 g / 4 semanas / 12 semanas	7 sujetos con patología	44-80 años	Dinamómetro isocinéptico (fuerza y resistencia pantorrilla) Tiempo de marcha Intercambio gaseoso (VO2máx y VCO2máx) Análisis de sangre (lactato en sangre) tras la marcha continua	↑ fuerza muscular, ↓ tiempo marcha No ↑ resistencia muscular
18	L-carnitina	3 g o 4 g	26 futbolistas profesionales	17-19 años	Velocidad de carrera FC, Análisis de sangre (lactato en sangre) tras la carrera continua Escala Borg (percepción dificultad)	↑ velocidad de carrera, ↑ resistencia cardiovascular, ↓ acumulación lactato, ↓ percepción dificultad
19	L-tartrato de L-carnitina	4,5 g al día / 24 semanas	21 hombres sanos no entrenados	23 años ± 2	Pueba ejercicio incremental (VO2máx y potencia máx) Biopsia muscular (concentración carnitina libre, acetilcarnitina, carnitina total, ATP, Pcr, lactato y glucógeno) Análisis plasma (concentración carnitina) Activación PDC (metabolismo grasas y carbohidratos)	No mejoras sig. metabolismo muscular o adaptaciones, no influyó en provisión de ATP, no mejoras en rendimiento o capacidades
20	L-tartrato de L-carnitina	2 g día / 6 semanas / 7 semanas	10 hombres sanos entrenados en levantamiento de pesas	23,7 años ± 2,3	Pre y post levantamiento de pesas Resonancia magnética (disrupción muscular y tiempo de relajación) Espectrofotometría (carnitina total, libre y acetilcarnitina en suero) Espectrofotómetro (lactato) Amplex Red (catabolismo de purinas) ELISA (estrés oxidativo) Escala visual analógica (percepción del dolor)	↑ concentración carnitina total, libre y acetilcarnitina, ↓ catabolismo de purinas, ↓ daño muscular, ↓ formación radicales libres, ↑ recuperación, ↓ disrupción muscular, ↓ percepción del dolor

21	Propionil L-carnitina	4,5 gramos + 1,5 g o 3 g o 4,5 g / 28 días	45 hombres entrenados en resistencia	18-35 años	Potencia máxima, potencia media y decremento de potencia Circunferencia muslo dominante Lactato en sangre y FC post 5 s, 4 min y 14 min tras la prueba HITT	Grupo 1,5: ↑ rendimiento, ↑ Pmax y media, ↑ resistencia fatiga en primeros sprints, ↓ acumulación lactato Grupo 3 y 4,5: ↓ eficiencia, ↑ lactato/unidad de P
22	L-tartrato de L-carnitina	3 g / 5 semanas	80 participantes sanos	21-65 años	Tirón isométrico (fuerza muslo medio) Escalas de evaluación (percepción recuperación, fatiga y dolor muscular) Nivel CK (daño muscular) CMJ y SJ (potencia muscular) DXA (composición corporal) Niveles SOD (capacidad antioxidante)	↓ dolor muscular percibido, ↓ daño muscular, ↓ inflamación por ejercicio, ↑ estado antioxidante, ↑ fuerza y potencia.
23	L-carnitina o cafeína o L-carnitina + cafeína	2 g / 2 semanas	5 jugadores de rugby	24 años	Prueba incremental (VO2máx) Análisis de sangre (nivel de carnitina en plasma, colesterol, triglicéridos y AG libres) Análisis de orina (excreción de creatina) Análisis bioquímicos (variaciones y respuesta de la suplementación)	↑ tiempo de resistencia
24	L-tartrato de L-carnitina	3 g al día / 15 días / 5 semanas	15 atletas de resistencia	25 años	FC Escala de Borg (percepción del esfuerzo) Análisis de gases (tasa de oxidación) Análisis de orina (excreción carnitina) Análisis de sangre (lactato, glucosa, AG libres, hemoglobina) antes y durante la prueba incremental.	↓ FC durante el ejercicio en ciertas cargas, ↓ concentración glucosa en plasma. No diferencias en oxidación de carbohidratos y grasas
25	L-tartrato de L-carnitina	2 g al día / 6 semanas / 7 semanas	10 hombres entrenados en fuerza	23,7 años ±2,3	IRMA (GH, IGF-I, IGFBP-3) RIA (testosterona) Antes durante y después del entrenamiento de fuerza	↑ concentración de IGFBP-3, ↓ daño muscular
26	L-tartrato de L-carnitina	2 g / 3 semanas	9 hombres entrenados en fuerza	25 años ±6	Electroscopia NIRS (oxigenación del muslo y antebrazo) Análisis de sangre tras entrenamiento de fuerza	↓ oxigenación muscular en oclusión del brazo y tras cada serie de fuerza, ↓ daño de la membrana
27	L-carnitina	2 g / 14 días	21 hombres sanos	22 años ±1	Análisis de sangre tras entrenamiento de resistencia	↑ capacidad antioxidante plasma, ↓ MDA, ↓ TBARS, CK y LDH tras 24 horas del ejercicio
28	L-carnitina	2 g / 24 días	18 hombres sanos y mujeres sanas	M: 45 años ±5 F: 52 años ±5	Análisis de sangre tras entrenamiento de fuerza	↓ metabolismo purina, ↓ formación radicales libres, ↓ alteración tejido muscular, ↓ dolor muscular. No efecto rendimiento

Abreviaturas y símbolos utilizados:

↑: aumento; ↓: disminución, AG: ácidos grasos; ATP: adenosín trifosfato; CHg: prueba de gonadotropina coriónica; CK: creatina quinasa; CMJ: salto con contramovimiento; COMg: grupo suplementación combinada (L-carnitina, L-leucina, creatina, vitamina D); DXA: dual-energy X-ray absorptiometry; ELISA: enzyme-linked immunosorbent assay; FC: frecuencia cardíaca; GH: hormona del crecimiento; GXT: graded exercise test; H2O2: peróxido de hidrógeno; HITT: high intensity interval training; IGF-I: factor de crecimiento insulínico tipo 1; IGFBP-3: proteína de unión al factor de crecimiento similar a la insulina tipo 3; IMC: índice de masa corporal; IRMA: análisis de radioinmunoensayo; Lcarg: grupo suplementado con L-carnitina; LDH: lactato deshidrogenasa; MDA: malondialdehído; mTOR: diana de rapamicina en mamíferos; NIRS: near-infrared spectroscopy; P: potencia; Pcr/ATP: relación fosfocreatina/adenosín trifosfato; PDC: complejo piruvato deshidrogenasa; Pre ej: antes del ejercicio; Post ej: después del ejercicio; Post ej 1h: 1 hora después del ejercicio; Post ej 24h: 24 horas después del ejercicio; Pmax: potencia máxima; RIA: análisis de radioinmunoensayo; SJ: squat jump; SMI: índice de masa muscular esquelética; SOD: superóxido dismutasa; TBARS: ácido tiobarbitúrico; VO2max: consumo máximo de oxígeno; VCO2max: consumo máximo de dióxido de carbono; XO: xantina oxidasa

Limitaciones de los estudios.

Ref	Limitaciones del estudio
10	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo, duración del estudio corta, dosis de los nutrientes no controlada, variables no controladas.
11	Duración del estudio corta, no realización de biopsia muscular ni medición del estrés oxidativo.
12	Tamaño de la muestra reducido, contexto específico, duración del estudio corta, composición del suplemento no controlado.
13	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo, ausencia de un grupo placebo, variables no controladas, falta de análisis de otros parámetros metabólicos.
14	Tamaño de la muestra reducido, duración del estudio corta, individuos "no respondedores" al tratamiento.
15	Variabilidad en los procedimientos de prueba, ausencia de medidas de Nox, evaluación limitada de la reactividad hipertérmica.
16	El estudio se centró en la medición del estrés oxidativo en sangre y en un período limitado de tiempo después del ejercicio.
17	Tamaño de la muestra reducido, duración del estudio corta, variabilidad individual.
18	Homogeneidad de la muestra, duración del estudio corta, variables no controladas, posibles sesgos, interacciones con otros factores.
19	Duración de los intervalos de ejercicio cortos, homogeneidad de la muestra, variabilidad individual.
20	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo, duración del estudio corta, no se midió la concentración de carnitina en el endotelio ni el flujo sanguíneo local, no se midieron el rendimiento, el estrés oxidativo ni la inflamación, financiado por una empresa con posibles conflictos de interés.
21	Homogeneidad de la muestra, limitaciones en el control del ejercicio.
22	Duración del estudio corta, limitaciones en la evaluación de variables.
23	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo, duración del estudio corta, no se tuvo en cuenta las diferencias individuales, no control de dieta ni entrenamiento ni otra posible suplementación.
24	Tamaño de la muestra reducido, duración del estudio corta, duración del ejercicio corta, control de la dieta solo antes de los ensayos.
25	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo, duración del estudio corta, no control de hábitos fuera del estudio.
26	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo.
27	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo, sin grupo control.
28	Tamaño de la muestra reducido y homogéneo, sin grupo control.

DISCUSIÓN

Propiedades de la suplementación con L-carnitina

Tras el análisis de los estudios seleccionados para la revisión bibliográfica, se comprobó cómo la suplementación con L-carnitina tiene distintos efectos metabólicos. Más concretamente, se analizaron sus **capacidades antioxidantes**, su capacidad para reducir el **daño muscular**, las mejoras en la producción y aclaramiento de **lactato** y su relación con una menor **percepción de fatiga/esfuerzo** y una **recuperación** más eficiente.

Capacidad antioxidante

La L-carnitina no solo cumple un papel crucial en el metabolismo energético, sino que también posee propiedades antioxidantes relevantes para la salud. Funciona como un escudo contra el daño oxidativo, neutralizando radicales libres y reduciendo el estrés oxidativo a nivel celular. Este efecto protector se lleva a cabo a través de la modulación de enzimas antioxidantes claves, como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa (GPx). Al disminuir el daño oxidativo, la L-carnitina preserva la integridad celular y optimiza el funcionamiento de los sistemas biológicos. Como resultado, la L-carnitina contribuye a mejorar la capacidad antioxidante general del organismo, promoviendo así el bienestar y la salud a largo plazo. (11)

Reducción del daño muscular

Las propiedades antioxidantes de la L-carnitina la convierten en un aliado para la protección muscular durante el ejercicio intenso por varios motivos: su capacidad para neutralizar **radicales libres** y reducir el **estrés oxidativo** a nivel celular es fundamental para prevenir el **daño oxidativo** y la **inflamación** asociados al ejercicio intenso. Para ello, actúa como un escudo contra los **radicales libres**, moléculas inestables que pueden dañar las células musculares, y disminuye la producción de estos **radicales libres**, protegiendo así las células del estrés oxidativo. La L-carnitina influye en la actividad de enzimas como la **xantina oxidasa**, implicada en la generación

de radicales libres durante el ejercicio. Al modular la actividad de estas enzimas, reduce la formación de radicales libres y protege las células del estrés oxidativo. La L-carnitina también combate la peroxidación lipídica, un proceso dañino que afecta las membranas celulares. Al proteger estas membranas, la L-carnitina ayuda a mantener la integridad estructural de las células musculares y previene el daño tisular. (20)

Stefan et al analizaron cómo la L-carnitina disminuye los niveles de creatina quinasa (CK) en suero, un indicador del daño muscular. La L-carnitina protege la integridad de las fibras musculares, limitando la liberación de productos de degradación en el torrente sanguíneo y minimizando el daño tisular. Por otro lado, reduce la proteína C reactiva (CRP) en suero, un marcador de la inflamación. Al disminuir la inflamación, favorece una recuperación muscular más rápida y efectiva, atenuando los síntomas asociados como dolor y rigidez muscular. (22)

Kraemer et al estudiaron cómo la reducción del daño muscular se debió a la capacidad de la L-carnitina L-tartrato para facilitar la vasodilatación capilar, un proceso que ensancha los capilares y aumenta el flujo sanguíneo hacia los músculos, lo que conlleva una mejora en la entrega de oxígeno a los músculos en ejercicio. Esto reduce la hipoxia muscular local, contribuyendo a atenuar la magnitud del daño muscular. (25)

La suplementación con L-carnitina ha demostrado ser eficaz para proteger las membranas celulares del daño muscular inducido por el ejercicio intenso. En el estudio de **Spiering et al** se observó la capacidad de la L-carnitina para suprimir la concentración de malondialdehído (MDA), un marcador clave del daño oxidativo en la membrana. (26)

Reducción de lactato

La L-carnitina facilita el transporte de ácidos grasos a las mitocondrias, donde se oxidan para generar energía. Al aumentar la oxidación de ácidos grasos, la L-carnitina disminuye la dependencia de la glucólisis anaeróbica, un proceso que produce lactato como subproducto. Además, según **Wall et al**, la suplementación con L-carnitina y carbohidratos podría mejorar la eficiencia en la producción de energía durante el ejercicio, lo que reduciría la formación de lactato como subproducto metabólico. (13)

La L-carnitina puede modular la actividad de enzimas reguladoras, como piruvato deshidrogenasa quinasa (PDK), que inactiva la piruvato deshidrogenasa (PDH) mediante fosforilación. Al modular la actividad de la PDK, la L-carnitina puede promover la activación de la PDH y, por lo tanto, aumentar la conversión de piruvato en acetil-CoA. Como resultado, se favorece la producción de energía aeróbica a través del ciclo de Krebs, minimizando la necesidad de recurrir a la glucólisis anaeróbica, principal productora de lactato. Al influir en la actividad de la PDK y promover una mayor oxidación aeróbica de sustratos, la L-carnitina afecta positivamente a la producción de lactato durante el ejercicio. La menor dependencia de la glucólisis anaeróbica reduce la formación de lactato.

Jacobs et al investigaron cómo la L-carnitina puede actuar como un tampón del pool de CoA al reciclar y reponer esta coenzima esencial. Un pool de CoA adecuado es crucial para el metabolismo energético, incluyendo la oxidación de ácidos grasos y la producción de energía aeróbica. Al mantener un pool de CoA estable, la L-carnitina podría contribuir a minimizar la acumulación de lactato y retrasar la fatiga muscular. (21)

Otro beneficio de la L-carnitina es su comportamiento como un tampón para los iones de hidrógeno (H⁺) producidos durante la degradación del ácido láctico, un proceso metabólico que convierte el lactato en piruvato. La acumulación de H⁺ en la sangre provoca acidosis sanguínea, una condición que afecta negativamente en el rendimiento deportivo y la recuperación muscular. (11)

Aparte de los mecanismos descritos anteriormente, la L-carnitina puede influir en la producción de lactato durante el ejercicio a través de otras vías: la L-carnitina aumenta la producción de óxido nítrico (NO), una molécula con propiedades vasodilatadoras. La vasodilatación mejora el flujo sanguíneo hacia los músculos activos, facilitando la eliminación del lactato y otros subproductos metabólicos de los músculos. Además, mejora la capacidad de los músculos para tamponar el ácido láctico producido durante el ejercicio intenso, debido a un posible aumento en la actividad de enzimas como la LDH (lactato deshidrogenasa). Así, un mejor tamponamiento podría retrasar la acidosis intramuscular y reducir la acumulación de lactato en la sangre. (15)

Por último, la L-carnitina ejerce efectos protectores sobre las células sanguíneas durante el ejercicio intenso a través de un mecanismo adicional debido a la menor dependencia de la glucólisis anaeróbica y la mayor producción de energía aeróbica a causa de la reducción de la producción de lactato, la disminución del estrés oxidativo y el mantenimiento de la integridad celular (18).

Mayor eficiencia en la recuperación muscular

Según **Volek et al**, la mayor disponibilidad de energía celular que proporciona la L-carnitina al facilitar el transporte de ácidos grasos, junto con sus efectos antiinflamatorios al modular la liberación de citocinas proinflamatorias y la reducción de la degradación de purinas gracias a la utilización de ácidos grasos como fuente de energía durante el ejercicio, podría traducirse en un complemento nutricional prometedor para acelerar la recuperación muscular, además de reducir el dolor muscular y preservar la función muscular. (20)

Por otro lado, **Kraemer et al** llegaron a la conclusión de que la mejora en la recuperación se debió a que la suplementación con L-carnitina redujo la cantidad de daño en el tejido muscular, mediado por una reducción en el daño relacionado con la hipoxia por radicales libres y por una disminución en los niveles de dolor muscular, posiblemente causado por un menor daño tisular. Además, se observó que la concentración de IGFBP-3 respondió de manera significativa a la suplementación, lo que sugiere una mayor preservación de las concentraciones de IGF-I en la recuperación y en los días previos al estrés del ejercicio (25).

Percepción fatiga/esfuerzo

En consecuencia a lo visto en los puntos anteriores, la L-carnitina reduce la percepción de fatiga por varios factores: favorecer la **oxidación de ácidos grasos** y la producción de ATP en las mitocondrias proporcionando una fuente de energía más eficiente, reducir la acumulación de **lactato** disminuyendo la acidosis muscular y retrasando la fatiga durante el ejercicio, reducir el **daño muscular** inducido por el ejercicio y promover la síntesis de proteínas musculares mejorando la recuperación muscular, que contribuye a una menor fatiga durante el ejercicio. Además, sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes reducen el estrés oxidativo y la inflamación asociados con el ejercicio intenso, ayudando a retrasar la fatiga muscular. (13)

Jacobs et al asociaron la reducción de la percepción de fatiga a varios factores: la reducción de la acumulación de **lactato**, su capacidad para proporcionar un **sustrato energético anaplerótico** al convertirse en succinato -lo que potencialmente aumenta la disponibilidad de energía para la contracción muscular, retrasando la fatiga y mejorando la entrega de oxígeno y nutrientes- y sus efectos **vasodilatadores** -optimizando la cantidad de oxígeno y nutrientes que llegan al músculo- contribuyen a una menor percepción de fatiga. (21)

Rendimiento y suplementación con L-carnitina

Tras el análisis de los efectos que produce la suplementación con L-carnitina, estos pueden suponer un beneficio en el rendimiento deportivo gracias a distintas vías:

Evans et al encontraron que la combinación de L-carnitina, creatina y leucina aumentó la expresión de la proteína mTOR, lo que se relacionó con un mayor crecimiento muscular y el aumento de la fuerza muscular. (10)

Por otro lado, varios estudios -como los de **Koozehchian et al**, **Barker et al**, **Orer et al** y **Stefan et al**- relacionaron el aumento de la potencia en el grupo suplementado. La eficiencia energética, el uso de ácidos grasos como fuente de energía y la reducción de lactato sanguíneo, efectos ya analizados de la suplementación con L-carnitina, parecen contribuir a un retraso de la fatiga, una mejor recuperación y, por lo tanto, una posible mayor potencia, fuerza, resistencia cardiovascular y rendimiento. (11, 17, 18, 22)

Jacobs et al analizaron otro factor beneficioso para el rendimiento: la producción de óxido nítrico (NO). Al provocar la vasodilatación capilar, el ON mejora la entrega de oxígeno y nutrientes a los músculos, lo que podría resultar en una mayor capacidad de producción de energía para la contracción muscular y aumentar la potencia durante el ejercicio. (15)

Finalmente, en otro estudio de **Jacobs et al**, se observó cómo la L-carnitina, al actuar como un sustrato energético anaplerótico, aumentó la disponibilidad de energía para una mayor contracción muscular y cómo las cualidades antiinflamatorias y antioxidantes permitieron una regeneración muscular más rápida y efectiva y una mayor protección de las células musculares al daño oxidativo, contribuyendo a un mejor rendimiento. (21)

Resultados contradictorios

Tras la revisión de los distintos estudios se ha observado que, en muchos aspectos, hay un consenso sobre los efectos de la suplementación con la L-carnitina gracias a sus cualidades antiinflamatorias y antioxidantes, que proporcionan beneficios para el ejercicio físico. Sin embargo, hay otros aspectos que no están del todo claros.

Por ejemplo, de los estudios analizados y que midieron los cambios en la masa muscular, sólo el estudio de **Evans et al** (10) obtuvo beneficios en este aspecto, mientras que los estudios de **Koozehchian et al** (11) y **Wall et al** (13) obtuvieron cambios significativos en otros valores, pero no en la masa muscular. **Wall et al** atribuye esta falta de beneficios en la masa muscular a la dificultad para aumentar los niveles de carnitina en el músculo esquelético a través de la suplementación con L-carnitina. Esta observación sugiere que, si bien la L-carnitina posee potenciales beneficios en el metabolismo muscular y la producción de energía, su capacidad para promover el crecimiento muscular en humanos mediante suplementación directa podría estar restringida a la capacidad de absorción por parte del músculo.

Shannon et al (19) afirman en su estudio que la disponibilidad de carnitina no siempre representa el factor limitante en la producción de ATP o en la utilización de glucógeno durante el ejercicio. Otros procesos metabólicos, como la fosforilación oxidativa en las mitocondrias o la glucólisis, podrían desempeñar un papel más relevante en la determinación de la tasa de producción de energía, por lo que la influencia directa de la carnitina en el rendimiento deportivo y en la disponibilidad de sustratos energéticos puede ser limitada en ciertos contextos.

También se ha sugerido que la capacidad de las células musculares para utilizar la carnitina de manera efectiva durante el ejercicio puede estar sujeta a limitaciones. Un ejemplo de ello es el estudio de **Jacobs et al** (21), donde se observaron mayores beneficios en grupos con una

suplementación menor de carnitina. Esta observación podría estar relacionada con la regulación de las enzimas implicadas en el metabolismo de la carnitina.

Por último, en el estudio de **Broad et al** (24) se detectó que, en condiciones de alta disponibilidad de grasa, se producía una disminución de la glucosa en sangre en el grupo suplementado con L-carnitina en comparación con el grupo placebo, lo que sugiere que la L-carnitina ejerce un efecto modulador sobre el metabolismo de la glucosa, especialmente en situaciones de alta disponibilidad de ácidos grasos. Sin embargo, este efecto no se tradujo en una alteración general del uso de sustratos en todo el organismo durante el ejercicio de corta duración a las intensidades estudiadas. Esto indica que la influencia de la L-carnitina podría estar localizada en tejidos específicos con alta actividad metabólica, actuando de manera focalizada.

CONCLUSIÓN

La investigación sobre la suplementación con L-carnitina en el ámbito deportivo muestra beneficios a la hora de reducir el estrés oxidativo, el daño muscular, la acumulación de lactato y, en general, proporciona una recuperación más eficiente del ejercicio. Sin embargo, en cuanto a sus efectos sobre el rendimiento en valores de fuerza, potencia, resistencia muscular, resistencia cardiovascular, etc., aún no existe un consenso total y se necesita más investigación.

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

La suplementación con L-carnitina se ha demostrado efectiva para reducir el estrés oxidativo, el daño muscular y los niveles de lactato en sangre. Por otro lado, en lo que a mejorar el rendimiento se refiere, existe controversia, por lo que esta propuesta de intervención tiene como objetivo elaborar un estudio piloto sobre los efectos de la suplementación con L-carnitina en una población donde aún no se haya investigado tanto.

Se realizará un estudio aleatorizado, doble ciego, paralelo y controlado con placebo. Seleccionaremos a un grupo de 30 corredoras de fondo amateur de 18 a 25 años -la mayoría de los estudios han trabajado con hombres o con hombres y mujeres entre grandes rangos de edad- y con un nivel de entrenamiento homogéneo: un VO₂ máx de entre 40-55 ml/kg/minuto, una economía de carrera de entre el 60 y el 75% del VO₂máx, un umbral de lactato de entre el 70 y el 85% del VO₂máx y con una composición corporal de entre el 15 y el 25%. Se asignarán aleatoriamente a dos grupos de atletas: un grupo recibirá una dosis total de 3 g de L-carnitina al día y el otro grupo recibirá un placebo, ambos de forma oral y durante 15 días. Se controlará la dieta y el ejercicio físico durante todo el estudio para asegurar que estos factores sean homogéneos entre ambos grupos de estudio.

Los sujetos completarán una prueba de familiarización en cinta de correr mediante una prueba de esfuerzo cardiopulmonar incremental los días previos al inicio del estudio y la repetirán el día 8 y 15 para evaluar su evolución durante el ensayo. Dicha prueba comenzará con una velocidad de 4 Km/h y una inclinación del 0% y cada 3 minutos se incrementará 0,5Km/h la velocidad y un 2% la inclinación.

Se tomarán muestras de sangre antes y justo después de las pruebas de ejercicio para analizar: el estrés oxidativo -midiendo los niveles de carbonilos proteicos y malondialdehído-, el daño muscular -midiendo los niveles de creatina kinasa- y el nivel de lactato. También se medirá mediante monitorización: la frecuencia cardíaca, la presión arterial y el consumo de oxígeno y, mediante análisis de datos, se calculará el VO₂máx, la economía de carrera, la potencia máxima y el tiempo hasta el agotamiento, para así analizar cómo evoluciona el nivel de rendimiento de los sujetos durante el estudio.

Para el análisis estadístico se utilizará el Análisis de Varianza de Medidas Repetidas (ANOVA) para evaluar cómo los diferentes tratamientos (L-carnitina vs. placebo) afectarán a las respuestas metabólicas y cardiovasculares a lo largo del tiempo (en diferentes días de prueba: D1, D8 y D15). Al ser un diseño de medidas repetidas, analizar las mismas variables en los mismos sujetos en distintos momentos ayudará a controlar la variabilidad individual y a detectar cambios significativos a lo largo del tiempo. Se utilizarán pruebas t Student para comparar las medias entre ambos grupos, permitiendo determinar si hay diferencias significativas en las respuestas metabólicas o cardiovasculares entre los dos tratamientos. Cuando se encuentren cambios significativos, se realizarán pruebas post hoc de Tukey para identificar diferencias específicas entre los grupos. Se establecerá un nivel de significancia de $p < 0.05$.



BIBLIOGRAFÍA

- 1- Roseiro, L. C., & Santos, C. (2019). Carnitines (Including L-Carnitine, Acetyl-Carnitine, and Propionyl-Carnitine). En Elsevier eBooks (pp. 45-52) <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00006-0>
- 2- Gnoni, A., Longo, S., Gnoni, G. V., & Giudetti, A. M. (2020). Carnitine in Human Muscle Bioenergetics: Can Carnitine Supplementation Improve Physical Exercise?. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(1), 182. <https://doi.org/10.3390/molecules25010182>
- 3- Peeling, P., Binnie, M. J., Goods, P. S. R., Sim, M., & Burke, L. M. (2018). Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 178–187. <https://doi.org/10.1123/ijsem.2017-0343>
- 4- Fielding, R., Riede, L., Lugo, J. P., & Bellamine, A. (2018). L-Carnitine Supplementation in Recovery after Exercise. *Nutrients*, 10(3), 349. <https://doi.org/10.3390/nu10030349>
- 5- Kim, J., Park, J., & Lim, K. (2016). Nutrition Supplements to Stimulate Lipolysis: A Review in Relation to Endurance Exercise Capacity. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 62(3), 141–161. <https://doi.org/10.3177/jnsv.62.141>
- 6- Oliveira, C., & Sousa, M. (2019). The effects of L-carnitine supplementation in athletic performance. *Science & Sports*, 34 (2), 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2018.09.005>
- 7- Caballero-García, A., Noriega-González, D. C., Roche, E., Drobnic, F., & Córdova, A. (2023). Effects of L-Carnitine Intake on Exercise-Induced Muscle Damage and Oxidative Stress: A Narrative Scoping Review. *Nutrients*, 15(11), 2587. <https://doi.org/10.3390/nu15112587>
- 8- Yepes-Núñez, J. J., Urrútia, G., Romero-García, M., & Fernández, S. A. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://www.revespcardiol.org/es-declaracion-prisma-2020-una-guia-articuloS0300893221002748>
- 9- Guyatt, G.H.; Oxman, A.D.; Vist, G.E.; Kunz, R.; Falck-Ytter, Y.; Alonso-Coello, P.; Schünemann, H.J.; GRADE Working Group. GRADE: An emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 2008, 336, 924–926. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>
- 10- Evans, M., Guthrie, N., Pezzullo, J., Sanli, T., Fielding, R. A., & Bellamine, A. (2017). Efficacy of a novel formulation of L-Carnitine, creatine, and leucine on lean body mass and functional muscle strength in healthy older adults: a randomized, double-blind placebo-controlled study. *Nutrition & metabolism*, 14, 7. <https://doi.org/10.1186/s12986-016-0158-y>
- 11- Koozehchian, M. S., Daneshfar, A., Fallah, E., Agha-Alinejad, H., Samadi, M., Kaviani, M., Kaveh B, M., Jung, Y. P., Sablouei, M. H., Moradi, N., Earnest, C. P., Chandler, T. J., & Kreider, R. B. (2018). Effects of nine weeks L-Carnitine supplementation on exercise performance, anaerobic power, and exercise-induced oxidative stress in resistance-trained males. *Journal of exercise nutrition & biochemistry*, 22(4), 7–19. <https://doi.org/10.20463/jenb.2018.0026>
- 12- Naclerio, F., Larumbe-Zabala, E., Cooper, R., Allgrove, J., & Earnest, C. P. (2015). A multi-ingredient containing carbohydrate, proteins L-glutamine and L-carnitine attenuates fatigue

perception with no effect on performance, muscle damage or immunity in soccer players. *PLoS one*, 10(4), e0125188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125188>

13-Wall, B. T., Stephens, F. B., Constantin-Teodosiu, D., Marimuthu, K., Macdonald, I. A., & Greenhaff, 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(Pt 4), 963–973. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.201343>

14-Bloomer, R. J., Smith, W. A., & Fisher-Wellman, K. H. (2007). Glycine propionyl-L-carnitine increases plasma nitrate/nitrite in resistance trained men. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 4, 22. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-4-22>

15-Jacobs, P. L., Goldstein, E. R., Blackburn, W., Orem, I., & Hughes, J. J. (2009). Glycine propionyl-L-carnitine produces enhanced anaerobic work capacity with reduced lactate accumulation in resistance trained males. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 6, 9. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-6-9>

16-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 (Print)*, 17(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/15438620802678289>

17-Barker, G. A., Green, S., Askew, C. D., Green, A. A., & Walker, P. J. (2001). Effect of propionyl-L-carnitine on exercise performance in peripheral arterial disease. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(9), 1415–1422. <https://doi.org/10.1097/00005768-200109000-00001>

18-Orer, G. E., & Guzel, N. A. (2014). The effects of acute L-carnitine supplementation on endurance performance of athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 28(2), 514–519. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a76790>

19-Shannon, C. E., Ghasemi, R., Greenhaff, P. L., & Stephens, F. B. (2018). Increasing skeletal muscle carnitine availability does not alter the adaptations to high-intensity interval training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(1), 107–115. <https://doi.org/10.1111/sms.12885>

20-Volek, J. S., Kraemer, W. J., Rubin, M. R., Gómez, A. L., Ratamess, N. A., & Gaynor, P. (2002). L-Carnitine L-tartrate supplementation favorably affects markers of recovery from exercise stress. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 282(2), E474–E482. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00277.2001>

21-Jacobs, P. L., & Goldstein, E. R. (2010). Long-term glycine propionyl-L-carnitine supplementation and paradoxical effects on repeated anaerobic sprint performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7, 35. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-35>

22-Stefan, M., Sharp, M., Gheith, R., Lowery, R., Ottinger, C., Wilson, J., Durkee, S., & Bellamine, A. (2021). L-Carnitine Tartrate Supplementation for 5 Weeks Improves Exercise Recovery in Men and Women: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients*, 13(10), 3432. <https://doi.org/10.3390/nu13103432>

23- Cha, Y. S., Choi, S. K., Suh, H., Lee, S. N., Cho, D., & Li, K. (2001). Effects of carnitine coingested caffeine on carnitine metabolism and endurance capacity in athletes. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 47(6), 378–384. <https://doi.org/10.3177/jnsv.47.378>

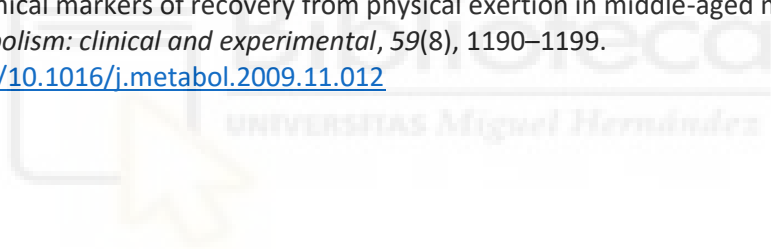
24- Broad, E. M., Maughan, R. J., & Galloway S, D. R. (2011). Effects of exercise intensity and altered substrate availability on cardiovascular and metabolic responses to exercise after oral carnitine supplementation in athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 21(5), 385–397. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.5.385>

25-Kraemer, W. J., Volek, J. S., French, D. N., Rubin, M. R., Sharman, M. J., Gómez, A. L., Ratamess, N. A., Newton, R. U., Jemiolo, B., Craig, B. W., & Häkkinen, K. (2003). The effects of L-carnitine L-tartrate supplementation on hormonal responses to resistance exercise and recovery. *Journal of strength and conditioning research*, 17(3), 455–462. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0455:teolls>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0455:teolls>2.0.co;2)

26-Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Hatfield, D. L., Vingren, J. L., Fragala, M. S., Ho, J. Y., Thomas, G. A., Häkkinen, K., & Volek, J. S. (2008). Effects of L-carnitine L-tartrate supplementation on muscle oxygenation responses to resistance exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 22(4), 1130–1135. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817d48d9>

27- Parandak, K., Arazi, H., Khoshkharesh, F., & Nakhostin-Roohi, B. (2014). The effect of two-week L-carnitine supplementation on exercise -induced oxidative stress and muscle damage. *Asian journal of sports medicine*, 5(2), 123–128.

28-Ho, J. Y., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Fragala, M. S., Thomas, G. A., Dunn-Lewis, C., Coday, M., Häkkinen, K., & Maresh, C. M. (2010). L-Carnitine L-tartrate supplementation favorably affects biochemical markers of recovery from physical exertion in middle-aged men and women. *Metabolism: clinical and experimental*, 59(8), 1190–1199. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2009.11.012>



ANEXOS

Anexo 1: Código de investigación responsable (COIR)



INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)

Elche, a 13/11/2023

Nombre del tutor/a	Enrique Roche Collado
Nombre del alumno/a	Manuel Martínez Ruiz
Tipo de actividad	Sin implicaciones ético-legales
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	L'Carnitina como suplemento deportivo.
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional	231112094428
Código de autorización COIR	TFG.GAF.ERC.MMR.231112
Caducidad	2 años

Se considera que el presente proyecto carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: L'Carnitina como suplemento deportivo, ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere ninguna evaluación adicional. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, se autoriza la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos
Jefe de la Oficina de Investigación Responsable
Vicerrectorado de Investigación y Transferencia

