

LA LEUCINA EN EL DESEMPEÑO DEPORTIVO: EJERCICIOS AERÓBICOS Y ANAERÓBICOS

LEUCINE IN SPORTS PERFORMANCE: AEROBIC AND ANAEROBIC EXERCISES

Yudi Alexandra González Álvarez

Maestrante en Ciencias del Deporte, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA).

Yubisay Noiraly Mejías Peña

Dra. (Ph. D) Docente e investigadora, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA).

RESUMEN

La leucina es un aminoácido utilizado por las células para la síntesis de proteínas, juega un rol importante en el rendimiento físico de los deportistas, en la degradación del tejido muscular por el envejecimiento natural y el anabolismo muscular, por ende, es importante conocer las principales diferencias de su uso como suplemento dietético en los ejercicios aeróbicos y anaeróbicos, porque, estos demandan un desarrollo muscular y un suministro de energía diferente por parte de los sistemas energéticos. Se identificaron las diferencias en la síntesis muscular en los ejercicios aeróbicos y anaeróbicos con una dieta rica en leucina, el impacto en el rendimiento muscular tras una ingesta de leucina, límite del cuerpo humano en el metabolismo de la leucina y los efectos adversos de una ingesta incrementada del aminoácido antes mencionado. Se recopiló diversos artículos de investigación que permitieron identificar esta información y se procedió a un análisis y comparación de resultados. Se concluyó que la leucina, como aminoácido

esencial, debe ser suministrado a través de la dieta, y su consumo, debe ser paralelo a una dieta rica en proteínas. La leucina ofrece mejoras leves al rendimiento deportivo, pero, ayuda en la recuperación luego de ejercicios de gran intensidad, donde haya daño muscular, posiblemente limitando su efectividad como ayuda ergogénica, y por ende, su principal aplicación radica en el tratamiento de la diabetes tipo 2 y la sarcopenia. La leucina no tiene efectos adversos en su uso, pero se recomienda una dosis máxima de 550mg/kg diarios, principalmente como medida preventiva ante la falta de estudios a largo plazo de la exposición a la leucina en elevadas concentraciones.

Palabras clave: Leucina, sarcopenia, aeróbico, anaeróbico, dosis, efectos.

ABSTRACT

Leucine is an amino acid used by cells for protein synthesis, plays an important role in athletes' physical performance, in the degradation of muscle tissue by natural aging and muscular anabolism, therefore, it is important to know the main differences in their use as a dietary supplement in aerobic and anaerobic exercises, as these demand a muscular development and a different energy supply by the energy systems. Differences in muscle synthesis were identified in aerobic

and anaerobic exercises with a leucine-rich diet, the impact on muscle performance after a leucine intake, the human body's limit on leucine metabolism and the adverse effects of an intake of the above-mentioned amino acid. A number of investigative articles were collected to identify this information and the results were analyzed and compared. It was concluded that leucine, as an essential amino acid, must be supplied through the diet and its consumption should be parallel to a high protein diet. Leucine offers slight improvements in sports performance, but it helps in recovery after intense exercise where there is muscle damage, possibly limiting its effectiveness as ergogenic aid, and therefore, its main application lies in the treatment of type 2 diabetes and sarcopenia. Leucine has no adverse effects on its use, but a maximum dose of 550mg/kg daily is recommended, mainly as a preventive measure in the absence of long-term studies of exposure to leucine at high concentrations.

Key words: Leucine, sarcopenia, aerobic, anaerobic, dose, effects.

INTRODUCCIÓN

La leucina como aminoácido esencial del cuerpo cumple una función clave en la biosíntesis de proteínas, siendo principalmente usada por el hígado, el tejido adiposo y el tejido muscular (Rosenthal, Ángel, Farkas, 1974); por ende, juega un rol importante en el rendimiento físico de los deportistas, en la degradación del tejido muscular por el envejecimiento natural y el anabolismo muscular. Debido a que este aminoácido no es sintetizado naturalmente por el cuerpo, depende en gran medida de la dieta y de los suplementos dietarios que

suministren la cantidad necesaria para el funcionamiento normal del cuerpo (Campbell, Wilborn, La Bounty, 2012).

Este análisis pretende enfocarse principalmente en la forma como la leucina interactúa con el cuerpo en la actividad física, y su posterior recuperación tras la ingesta de una dieta rica en leucina. Como parte fundamental del análisis, se comparará la síntesis muscular en la práctica de ejercicios aeróbicos y anaeróbicos, con la finalidad de identificar diferencias en el cuerpo y en la recuperación con base en la intensidad y la naturaleza del ejercicio.

De la misma manera, se busca observar, si la leucina tiene algún efecto en el rendimiento muscular, como la resistencia, la fuerza, la eficiencia y el gasto energético. Es importante mencionar que diversos factores afectan el rendimiento muscular, debido a que la insulina y las proteínas disponible en el cuerpo juegan un papel fundamental en la producción y combustión de energía, así como en la regeneración de los procesos celulares, por consiguiente, no se considerarán los efectos en personas con diabetes o algún desorden metabólico.

Adicionalmente, se analizará si existe algún límite metabólico del cuerpo para asimilar la leucina o si existe un punto de eficiencia máxima en, el que el cuerpo encuentra un punto máximo de síntesis muscular tras la práctica de ejercicio de alta intensidad.

Finalmente, se estudiará si existen efectos adversos en el uso de la leucina como suplemento dietario, y si, existe algún límite de administración, el que considere un uso responsable por parte de todos los involucrados en el deporte, debido a que su uso no se encuentra regulado y se podrían presentar amplios rangos de suministro de la leucina como ayuda ergogénica en la

obtención de mejores resultados en el deporte.

MÉTODO

Este análisis se realizó con la búsqueda en las bases de datos de Sports Medicine, PubMed, BioMed, Research Gate, US National Library of Medicine, American

Society for Nutrition, Strength & Conditioning Journal, MedLine y Science Direct. Considerando la ausencia de información en español, se realizó una búsqueda principalmente con términos en inglés, tales como: Leucine, Performance, Synthesis, Aerobic, Anaerobic, Metabolism, Resistance, Endurance, Excess y Adverse. Dentro de los resultados, se seleccionaron aquellos artículos donde la población en estudio fueran humanos, de igual manera se tomaron en cuenta algunos estudios en animales que se consideraron relevantes.

Se recopilaron alrededor de 50 artículos con contenido relevante al tema, identificando que los artículos estuviesen oficialmente publicados y que su contenido fuese reciente, filtrando los artículos no mayores a 5 años (2011-2017), con una revisión de las referencias cruzadas encontradas dentro de los mismos. Se procedió a la lectura completa y objetiva de su contenido, tomando la información pertinente a los objetivos de esta revisión. En el desarrollo de este análisis, se tratarán: (1) Diferencias en la síntesis muscular de ejercicios aeróbicos y anaeróbicos, (2) Impacto en el rendimiento muscular, (3) Límites metabólicos de la leucina y (4) Efectos adversos de la ingesta elevada de leucina.

Criterios de inclusión

En los criterios de inclusión se incorporaron artículos que utilizaran las palabras: leucina, sarcopenia, aeróbico, anaeróbico, dosis, efectos, fuerza, resistencia, consumo de oxígeno (VO_2), para la búsqueda, además, se enfocó en artículos publicados en los últimos cinco años, se tomaron en cuenta estudios en animales y seres humanos, por último, se filtró la información por idioma inglés y español.

Criterios de exclusión

Los artículos publicados hace más de cinco años, y donde, no se encontrara relación con la leucina, ni ejercicios aeróbicos y anaeróbicos, fueron excluidos del estudio, además de los artículos publicados en idiomas portugués o francés.

Leucina

La leucina (Leu) es uno de los veinte aminoácidos que utilizan las células para sintetizar proteínas. Junto con la valina y la isoleucina, conforman los aminoácidos de cadena ramificada o (BCAA, Branched-Chain Amino Acids en inglés) y metabólicamente, los BCAA promueven la síntesis y la rotación de proteínas, las vías de señalización y el metabolismo de la glucosa. La combinación de estos tres aminoácidos esenciales, compone casi la tercera parte de los músculos esqueléticos en el cuerpo humano y desempeñan un papel vital en la síntesis de proteínas.

Diferencias en la síntesis muscular de ejercicios aeróbicos y anaeróbicos

Las fibras musculares son generalmente clasificadas en contracción lenta I (oxidativa lenta), contracción rápida IIA (glicolítica oxidativa rápida) y contracción rápida IIX (glicolítica rápida) (Wilson, 2002). Varios estudios han analizado los tipos de fibra muscular de los atletas de élite, a través de diversos deportes, por lo que se dice, que los individuos no entrenados tienen una relación 50/50 de fibras rápidas (tipo IIA y IIX) a fibras de contracción lenta (tipo I).

En la población atlética los corredores de largas y medianas distancias tienen 60-70% de fibras de contracción lenta, mientras que los velocistas demuestran un 80% de fibras de contracción rápida, por tanto, los levantadores de peso de élite poseen una concentración de fibras de contracción rápida significativamente mayor (60%) que los atletas de resistencia (40%).

Por tanto, los atletas en deportes que requieren las mayores capacidades aeróbicas y de resistencia tienen porcentajes de fibra de contracción lenta de hasta 90-95%, mientras que los atletas en deportes que requieren mayores capacidades anaeróbicas, fuerza y potencia (por ejemplo, levantamiento de peso y sprint) tienen fibras de contracción rápida que van desde 60-80%, por lo que, las relaciones metabólicas son diferentes y la actuación de la leucina puede influir de manera diferente (Costill, et al., 1976).

Por tanto, las fibras de tipo I tienen mayores densidades de volumen de mitocondrias y longitud de contacto de fibra capilar comparadas con fibras tipo II, que está relacionado con la exigencia de los ejercicios en los que se activa esta ruta metabólica. Además, la densidad volumétrica de las mitocondrias está altamente correlacionada

($r = 0,99$) con los coeficientes de difusión de O_2 , que se ve en los estudios, a través de tres grupos musculares diferentes (retractor, sartorio, soleo), lo que sugiere una mayor capacidad aeróbica en fibras de tipo I por el tipo de actividad (Wilson, et al., 2011).

Por otro lado, las fibras tipo IIX y IIA tienen 10 y 6 veces más picos de potencia, respectivamente, que las fibras de tipo I. Además, las fibras de tipo IIX y IIA tienen una velocidad contráctil de 4,4 y 3 veces mayor que las de tipo I, respectivamente. Sin embargo, no existen diferencias en la fuerza específica (área de la fuerza / sección transversal), mientras que, la fuerza absoluta es mayor en las fibras de tipo II, debido a un área de sección transversal (CSA: Cross-Sectional Area) de 39 y 26% mayor en IIX y IIA que las fibras de tipo I, respectivamente, confirmando el uso diferente de fuerzas, y por ende, de utilización de recursos. Se encontró que 12 semanas de entrenamiento de sprint en sprinters masculinos entrenados resultaron en un aumento en la cadena pesada de miosina (MHC) IIA (34,7 a 52,3%) con una disminución concomitante en MHCI (52 a 41%) (Wilson, et al., 2011).

Es importante considerar al evaluar el efecto de la leucina en los ejercicios aeróbicos y anaeróbicos, debido a que la leucina aumenta significativamente el contenido mitocondrial, la expresión de genes relacionados con la biogénesis mitocondrial, la oxidación de ácidos grasos, la actividad SIRT1, que es una enzima que desacetila proteínas que contribuyen a la regulación celular (longevidad) y la expresión génica (Liang, et al., 2014), mientras que, en un tiempo prolongado bajo tensión muscular durante el ejercicio de fuerza no se estimula un aumento inmediato en las tasas de síntesis de la proteína miofibrilar, pero puede desencadenar una estimulación retardada

que es significativa a 24-30 horas de recuperación con un subsiguiente aumento de proteína miofibrilar inducido por la alimentación (Burd, et al., 2012).

La leucina en los ejercicios anaeróbicos

La leucina como aminoácido esencial juega un rol clave en la síntesis de proteína muscular/miofibrilar (MPS), por lo cual se le da importancia al anabolismo en los ejercicios de fuerza y la forma como este se logra con una dieta rica en proteínas (Churchward-Venne, Burd, Phillips, 2012), (Churchward-Venne et al., 2012), (Churchward-Venne et al., 2014) (Wilson, et al., 2013). Debido a esto, tiene un impacto mayor en el rendimiento anaeróbico, estimulando la MPS, debido a que es más efectiva durante el ejercicio que implica daño muscular.

La leucina en los ejercicios aeróbicos

A pesar de que la mayor parte de los estudios demuestran su efectividad en la síntesis muscular, por ende, una mejora anaeróbica, la leucina tiene impactos positivos notables en el ejercicio de actividades aeróbicas. En el ejercicio por intervalos de alta intensidad (HIIT) y cuando es combinado con β -hidroxi- β -metilbutírico (HMB) un metabolito de la leucina para mejorar la aptitud aeróbica, los resultados muestran que la adición de suplementos de HMB resulta en mayores cambios en el consumo máximo de oxígeno pico (VO_2 peak) y el umbral ventilatorio (VT) que el HIIT solo (Robinson IV, et al., 2014).

Impacto en el rendimiento muscular

La leucina, además de su función como activador de la MPS, interactúa directamente con la insulina, influyendo en el suministro de energía muscular, y por ende, teniendo un efecto en la salida total de energía de los músculos. El papel de la leucina es proporcionar una señal que los aminoácidos estén disponibles, que en combinación con la señal de disposición de energía de la insulina, estimula la síntesis de proteínas musculares (Williams, 2005).

Una dosis muy alta de este aminoácido puede estimular la síntesis de proteínas musculares, un efecto que se potencia con la insulina secretada en respuesta a la dosis de leucina (Williams, 2005). La leucina alta, también, puede inhibir la degradación de proteínas en el músculo esquelético, así como en el hígado. En contraste, a niveles fisiológicos normales, el aumento de la concentración de leucina por infusión estimula la síntesis de proteínas musculares mejorando su sensibilidad a la insulina. Esto se debe a que el rol de la leucina es de proveer una señal que los aminoácidos están disponibles, lo que en combinación con la señal de disponibilidad de la energía de la insulina, estimula la síntesis de proteína muscular (Garlick, 2005).

La leucina además atenúa el daño muscular en la práctica de ejercicios de fuerza y ayuda a disminuir la fatiga muscular (Pinheiro et al., 2011). Sin embargo, este efecto no se evidencia en periodos prolongados de ejercicio, porque después de un daño muscular inducido por el ejercicio, la suplementación con leucina en dosis altas puede ayudar a mantener la producción de fuerza durante las contracciones isométricas, sin embargo, este efecto no se observa en la generación de fuerza requerida para tareas

físicas complejas, limitando así su efectividad ergogénica (Kirby et al., 2014), (Nelson et al., 2012).

Respecto a la relación de los aminoácidos de cadena ramificada (BCAA) y el triptófano libre (fTRYP), se encuentra una relación entre el ejercicio de resistencia aeróbico prolongado, y el glucógeno muscular, debido a que, cuando este se agota en el músculo aumenta su dependencia de BCAA como combustible, disminuyendo la proporción de BCAA: fTRYP en plasma. Debido a que los BCAA compiten con el fTRYP para la entrada en el cerebro, una baja relación BCAA: fTRYP facilita la entrada de fTRYP en el cerebro y la formación de serotonina (Williams, 2005), consiguiendo así, una resistencia neurológica al dolor, y por ende, disminuyendo el efecto percibido de dolor en los músculos. Aún así, la leucina por sí sola puede prevenir la alteración de rendimiento del ejercicio de resistencia en comparación con la mezcla de BCAA en el agotamiento de glucógeno, mejorando el rendimiento muscular (Nissen et al., 2000).

El principal efecto de la leucina en el rendimiento se encuentra presente en el proceso de recuperación muscular, principalmente, a través de la ingesta de leucina luego de la práctica del ejercicio. Frente a la ingesta de este componente y el momento apropiado para lograr la mayor MPS, el consumo de proteínas adecuadas en combinación con el ejercicio de fuerza es el factor clave para maximizar la acumulación de proteínas musculares (Schoenfeld, Aragón y Krieger, 2013) replanteando la creencia sostenida, que en el momento de la ingesta de proteínas en y alrededor de una sesión de entrenamiento, es fundamental para las adaptaciones musculares.

Cuando se combinan 9 g/día de suplementación de BCAA con un

entrenamiento de resistencia crónico durante ocho semanas, la mitad administrada 30 minutos antes y después del ejercicio, no se observan efectos preferenciales sobre la composición corporal y el rendimiento muscular. Esto mismo, es soportado por Spillane, Emerson, Willoughby, donde se considera que la MPS se eleva en seres humanos en un 50%, a las 4 horas después de un entrenamiento de resistencia crónico, en un 109% a las 24 horas después del entrenamiento, y luego disminuye rápidamente de modo que a las 36 horas casi ha vuelto a los niveles basales (MacDougall et al, 1996), por lo que los periodos de recuperación y la utilización de la leucina tienen un efecto sobre el rendimiento y la recuperación (Spillane, Emerson, Willoughby, 2013).

Límites metabólicos de la leucina

La leucina es un aminoácido esencial, que debe ser suministrado a través de la dieta, por lo que hay un límite de síntesis. Para entender la dosificación nos remitiremos a entender que el límite metabólico para oxidar la leucina está entre 550 y 700 mg/kg diarios. Esto se determina por medio de marcadores para monitorizar efectos adversos, incluyendo glucosa, insulina, alanina aminotransferasa y amoníaco (Elango, et al., 2012). Se da un aumento en las concentraciones de amoníaco en la sangre en dosis de leucina superior a 500 mg/kg diarios. Por lo que se estima directamente que el límite de la ingesta de leucina en seres humanos es máximo 550 mg/kg diarios o ~39 g/d (para un peso promedio de 70kg). Por tanto, superar este límite puede ser un riesgo para la salud. Es importante señalar que no hay estudios de ingesta masiva y por tiempos

más prolongados (Pencharz, Elango, Ball, 2012), que es soportado por varios estudios (Cynober, et al., 2012), (Elango, et al., 2012).

Estas dosis son variables, es decir, en la prevención de la sarcopenia, se ha recomendado 1.0 a 1.2 g/kg/día sin exceder 1.6 g/kg/día para evitar los efectos adversos relacionados con deterioro de la función renal, por lo que, para alcanzar la máxima eficacia de síntesis proteica, no se deben aportar fuentes de energía procedentes de aminoácidos no esenciales e hidratos de carbono. El aporte recomendado de leucina, para lograr dicha síntesis proteica, es de 4 g/comida, tres comidas al día; o una mezcla de aminoácidos esenciales de 7.5g dos veces al día (Velásquez, Irigoyen, Delgadillo, 2012).

Efectos adversos de la ingesta elevada de leucina

Dentro del consumo de leucina y sus efectos adversos se debe tener en cuenta que el β -hidroxi- β -metilbutirato (HMB; también conocido como β hidroxi-isovalerato) es un metabolito del aminoácido ramificado leucina (LEU), que se produce a partir del ácido α -cetoisocaproico (CIC). La sensibilidad a la insulina producida por la suplementación con HMB afecta a largo plazo, y podría conducir a un mayor riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 (Yonamine, et al., 2014).

Por otro lado, se le da importancia al rol de la señalización aumentada del Complejo Mamífero de Objetivo de Rapamicina 1 (mTORC1: Mammalian Target of Rapamycin Complex 1) por la leucina y su relación en la patogénesis de la diabetes tipo 2, considerando que los aminoácidos, especialmente la leucina, estimulan significativamente la actividad de mTORC1, que es importante debido a que el mTORC1

funciona como un sensor de nutrientes/energía/Redox presentes, controlando la síntesis de proteínas.

Por su rol como sensor de energía, se debe prestar atención crítica a los niveles altos de glucosa y de grasa, también, se debe estar atento a la ingesta diaria de proteínas de origen animal, especialmente, la carne rica en leucina y las proteínas lácteas en la prevención de la diabetes (Melnik, 2012).

Por otra parte, se sabe que la ingesta excesiva de leucina causa retraso en el crecimiento y una disminución en el peso relativo del hígado, esta aseveración fue comprobada en estudios con ratas, cuando se incluye en una dieta relativamente baja en proteínas, pero no se da este fenómeno, cuando hay un consumo proteico mayor en la dieta. Esto es consistente frente a las consecuencias de un consumo del 7% de leucina en una dieta de 4% de caseína y 5% de leucina en una dieta de caseína de 6% causa retraso en el crecimiento, pero no en una dieta de caseína de 34% (Imamura, et al., 2013).

La aplicación de leucina como un fármaco nutriente se utiliza para estimular la liberación endógena de insulina, inhibir la descomposición de proteínas musculares y estimular la síntesis de proteínas musculares, como se puede deducir, la leucina tiene numerosas aplicaciones potenciales en la salud y la enfermedad. Hasta ahora, el impacto potencial de la administración de leucina se ha evaluado principalmente en la diabetes tipo 2, la sarcopenia o la práctica deportiva (Van Loon, 2012). En las poblaciones mayores, después de 28 días de suplementación con HMB, ésta aumentó el peso, el índice de masa corporal y la cintura, la cadera y las circunferencias de la pantorrilla. Además, la suplementación de HMB dio lugar a una disminución de la

excreción de nitrógeno, lo que sugiere que el HMB disminuyó la descomposición de proteínas y / o aumentó la síntesis de proteínas (Fitschen, et al., 2013).

Por último, no se detectaron cambios significativos en la concentración sanguínea de bilirrubinas, enzimas (fosfatasa alcalina, LDH, ALT, AST, GGT), hierro, glucosa, ácido úrico, urea, creatinina, electrolitos (Na, K, Cl, P), proteína, albúmina y globulina, ni tampoco en la biometría hemática de los sujetos.

En consecuencia, el HMB, a las dosis previamente publicadas (entre 3 y 6 g/día, hasta 8 semanas), no muestra peligrosidad para su consumo como suplemento nutricional. Nissen y col., analizaron los datos relacionados con la seguridad de la suplementación de HMB de nueve investigaciones en las que se utilizó una dosis de 3 g/día, durante 3 a 8 semanas, en distintas poblaciones (jóvenes y adultos, hombres y mujeres, entrenados y no entrenados) por lo que, frente a este tema se deben profundizar con estas variables, y así, tener evidencia más exacta frente a estas variables (Nissen et al, 2000)(Manjarrez-Montes-de-Oca, et al., 2015).

Discusión

Estudios reportaron que con la manipulación cuidadosa de las variables del ejercicio, se pueden experimentar cambios temporales de fibras de contracción rápida a fibras de contracción lenta, y viceversa. El porcentaje de fibras de tipo IIX disminuyó (18 a 10,5%) con un aumento en el porcentaje de fibras de tipo IIA. Estos resultados sugirieron una transformación bidireccional de fibras de tipo I y IIX a fibras de tipo IIA con entrenamiento de sprint.

Respecto a las evidencias, se muestra que se ocasiona daño muscular como

consecuencia del ejercicio intenso para que haya síntesis muscular. Debido a esto se obtiene un beneficio mayor de la leucina en la práctica de ejercicios anaeróbicos, ya que estos tienen un impacto fisiológico mayor en el músculo esquelético, y por ende, se verán mayores beneficios en la etapa de recuperación.

Con respecto al rendimiento aeróbico, se encontró que la leucina puede mejorar el consumo máximo de oxígeno pico (pico VO_2) y el umbral ventilatorio (VT), así como disminuir la degradación de proteínas y con ello, incrementar la resistencia del deportista.

El principal efecto de la leucina es mejorar la disponibilidad de glucosa muscular. La leucina sola puede prevenir el deterioro en el rendimiento del ejercicio de resistencia en comparación con la mezcla de BCAAs en el agotamiento de glucógeno (Campos-Ferraz, et al., 2013). De igual manera, la leucina ayuda a disminuir la fatiga muscular, sin embargo, este efecto no se evidencia en periodos prolongados de ejercicio, debido a que después de un daño muscular inducido por el ejercicio, la suplementación con leucina en dosis altas puede ayudar a mantener la producción de fuerza durante las contracciones isométricas, sin embargo, no en la generación de fuerza requerida para tareas físicas complejas, posiblemente limitando su efectividad ergogénica (Kirby, et al., 2012).

Cabe resaltar que los efectos beneficiosos como la reducción del dolor muscular y los marcadores de daño muscular se hacen más evidentes cuando la proteína suplementaria se consume después de las sesiones diarias de entrenamiento (Pasiakos, Lieberman, McLellan, 2014), confirmando que el consumo de proteínas adecuadas en combinación con el ejercicio de resistencia es el factor clave para maximizar la acumulación

de proteínas musculares en vez de un intervalo específico de tiempo para consumirla.

Intensidades tan bajas como el 30% de la fuerza máxima, cuando se elevan al punto máximo de fatiga, son igualmente eficaces para estimular las tasas de síntesis de proteínas musculares durante la recuperación del ejercicio de resistencia (Burd, et al., 2012). En el período postprandial, las tasas de MPS se incrementaron por encima de la línea de base en 0-1,5 h en todos los tratamientos. Un efecto mejorado de la alimentación de proteínas durante la recuperación del ejercicio tardío induce un tiempo más largo bajo la tensión muscular en lugar del volumen de contracción dependiente de la intensidad.

Por otra parte, se encontró desde cuatro fuentes diferentes una convergencia en el límite metabólico para oxidar la leucina, el cual estaba entre 550 y 700 mg/kg diarios (Elango, et al., 2012). Sin embargo, se requieren estudios a largo plazo para identificar, sí, hay algún efecto secundario en la exposición prolongada a la leucina, considerando que los estudios existentes se han enfocado en los efectos inmediatos o en un periodo de tiempo no mayor a 30 días, con dosis específicas de leucina.

Se requiere un consumo elevado de proteína en conjunto con la leucina, porque el consumo elevado de leucina en una dieta de baja proteína podría retardar el crecimiento del hígado y disminuir su tamaño relativo (Cynober, et al., 2012). Estudios anteriores sugieren que la leucina como aminoácido esencial requiere de la disponibilidad de proteínas para realizar la correcta síntesis muscular y de esta manera, estimular la liberación de insulina.

Con respecto a los efectos nocivos de la leucina, hay una relación de la leucina con el desarrollo de la diabetes tipo 2, pero se recomendó una atención particular al control de la ingesta paralela de carbohidratos y proteínas más que la leucina en sí. Sin embargo, se encontró el uso potencial de la leucina en el tratamiento de los pacientes crónicos de diabetes tipo 2, porque a pesar de que las células beta pancreáticas, ya no responden a la glucosa, su respuesta a otros estímulos (como los aminoácidos) permanece altamente funcional (Van Loon, 2012).

La función de la leucina como estimulante de la síntesis muscular miofibrilar es de gran importancia para retrasar la sarcopenia, debido a que se ha demostrado que tiene un efecto mayor cuando se administra a personas de edad avanzada que a un grupo de jóvenes, principalmente, por la respuesta a la leucina. Esto es un factor importante a considerar, debido a que la tasa de pérdida de músculo esquelético puede ser hasta de 1% por año después de los 30 años de edad y continúa hasta el final de la vida (Pasiakos, 2012).

Tras la identificación de los efectos de la leucina en el rendimiento aeróbico y anaeróbico, este estudio podría orientar para que los practicantes del deporte, nutricionistas, entrenadores, estudiantes e investigadores puedan diseñar rutinas y dietas más efectivas para mejorar el rendimiento; consiguiendo mejores resultados sin afectar la salud del deportista.

Conclusiones

La leucina, como aminoácido esencial, debe ser suministrada a través de la dieta y su consumo debe ser paralelo a una dieta rica en proteínas. La leucina ofrece mejoras leves al rendimiento deportivo, pero ayuda en la recuperación luego de ejercicios de gran intensidad, donde haya daño muscular, posiblemente limitando su efectividad como

ayuda ergogénica, por ende, su principal aplicación es en el tratamiento de la diabetes tipo 2 y en la sarcopenia. La leucina no tiene efectos adversos en su uso, pero se recomienda una dosis máxima de 550mg/kg diarios, principalmente como medida preventiva ante la falta de estudios a largo plazo de la exposición a la leucina en elevadas concentraciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen, J., Klitgaard, H., and Saltin, B. (1994). Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters: influence of training. *Acta Physiol Scand* 151: 135-142.
- Costill, D., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G., and Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol* 40: 149-154.
- Jansson, E., Sjodin, B., and Tesch, P. (1978). Changes in muscle fibre type distribution in man after physical training. A sign of fibre type transformation? *Acta Physiol Scand* 104: 235-237.
- Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., and Theisen, D. (2006). Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *J Appl Physiol* 100: 771-779.
- Nissen S, Sharp, R., Panton, L., Vukovich, M., Trappe, S., Fuller, J. (1945). Betahydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation in humans is safe and may decrease cardiovascular risk factors. *J Nutr* 2000; 130.
- Pinheiro, C., Gerlinger-Romero, F., Guimarães-Ferreira, L., et al. *Eur J Appl Physiol* (2012). 112: 2531. doi:10.1007/s00421-011-2224-5.
- Rosenthal, J., Angel, A., Farkas, J. (1974). Metabolic fate of leucine: a significant sterol precursor in adipose tissue and muscle. *American Journal of Physiology - Legacy Content* Feb 1974. 226 (2) 411-418.

WEBGRAFÍA

- Antonio, J., Peacock, C., Ellerbroek, A., Fromhoff, B., & Silver, T. (2014). The effects of consuming a high protein diet (4.4 g/kg/d) on body composition in resistance-trained individuals. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-19>
- Berton, R., Conceição, M., Libardi, C., Canevarolo, R., Gáspari, A., Chacon-Mikahil, M., Cavaglieri, C. (2017). Metabolic time-course response after resistance exercise: A metabolomics approach. *Journal of Sports Sciences*, 35(12). <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1218035>
- Burd, N., Andrews, R., West, D., Little, J., Cochran, A., Hector, A., Phillips, S. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *The Journal of Physiology*, 590(2), 351–362. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.221200>
- Burd, N., Mitchell, C., Churchward-Venne, T., & Phillips, S. (2012). Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein synthetic responses after resistance exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(3), 551–554. <https://doi.org/10.1139/h2012-022>
- Campbell, B., Wilborn, C., La Bounty, P., & Wilson, J. (2012). Nutrient Timing for Resistance Exercise. *Strength & Conditioning Journal (Allen Press)*, 34(4), 2–10 9p. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182558e16>
- Campos-Ferraz, P., Bozza, T., Nicastro, H., & Lancha, A. (2013). Distinct effects of leucine or a mixture of the branched-chain amino acids (leucine, isoleucine, and valine) supplementation on resistance to fatigue, and muscle and liver-glycogen degradation, in trained rats. *Nutrition*, 29(11–12), 1388–1394. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.05.003>
- Churchward-Venne, T., Breen, L., Di Donato, D., Hector, A., Mitchell, C., Moore, D., Phillips, S. (2014). Leucine supplementation of a lowprotein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men: A double-blind, randomized trial1-3. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99(2), 276–286. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.068775>
- Churchward-Venne, T., Burd, N., & Phillips, S. (2012). Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: strategies to enhance anabolism. *Nutrition & Metabolism*, 9(1), 40. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-40>
- Churchward-Venne, T., Burd, N., Mitchell, C., West, D., Philp, A., Marcotte, G., Phillips, S. (2012). Supplementation of a suboptimal protein dose with leucine or essential amino acids: effects on myofibrillar protein synthesis at rest and following resistance exercise in men. *The Journal of Physiology*, 590(11), 2751–2765. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.228833>
- Cynober, L., Bier, D., Kadowaki, M., Morris, S., & Renwick, A. (2012). A proposal for an upper limit of leucine safe intake in healthy adults. *Journal of Nutrition*, 142(12), 2249S–2250S. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3945/jn.112.160853>
- Dickinson, J., Gundermann, D., Walker, D., Reidy, P., Borack, M., Drum, M., Rasmussen, B. (2014). Leucine-Enriched Amino Acid Ingestion after Resistance Exercise Prolongs

- Myofibrillar Protein Synthesis and Amino Acid Transporter Expression in Older Men 1 - 3. *Journal of Nutrition*, 144, 1694–1702. <https://doi.org/10.3945/jn.114.198671>. However
- Fitschen, P., Wilson, G. J., Wilson, J. M., & Wilund, K. R. (2013). Efficacy of ??hydroxy-??-methylbutyrate supplementation in elderly and clinical populations. *Nutrition*, 29(1), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.05.005>
- Garlick, P. (2005). The Role of Leucine in the Regulation of Protein Metabolism. *The Journal of Nutrition*, 135(6), 1553S–1556S. <https://doi.org/10.1093/jn/135/6/1553S> [pii]
- Glynn, E., Fry, C., Drummond, M., Timmerman, K., Dhanani, S., Volpi, E., & Rasmussen, B. (2010). Excess Leucine Intake Enhances Muscle Anabolic Signaling but Not Net Protein Anabolism in Young Men and Women. *Journal of Nutrition*, 140(11), 1970–1976. <https://doi.org/10.3945/jn.110.127647>
- Grissom, J., Lennon, O., Denis, R., Grace, N., Blake, C., Rexhepi, A., Pedersen, P. (2014). Journal of Exercise Physiology online. *Journal of Exercise Physiology*, 8(1), 11–25. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181874564>
- Herbert, A., & Junior, L. (2015). muscle atrophy? A literature review, (April), 496– 507.
- Imamura, W., Yoshimura, R., Takai, M., Yamamura, J., Kanamoto, R., & Kato, H. (2013). Adverse effects of excessive leucine intake depend on dietary protein intake: a transcriptomic analysis to identify useful biomarkers. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 59(1), 45–55. <https://doi.org/10.3177/jnsv.59.45>
- Kirby, T., Triplett, N., Haines, T., Skinner, J., Fairbrother, K., & McBride, J. M. (2012). Effect of leucine supplementation on indices of muscle damage following drop jumps and resistance exercise. *Amino Acids*, 42(5), 1987–1996. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-0928-9>
- Liang, C., Curry, B., Brown, P., & Zemel, M. (2014). Leucine modulates mitochondrial biogenesis and SIRT1-AMPK signaling in C2C12 myotubes. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/239750>
- MacDougall, J., Gibala, M., Tarnopolsky, M., MacDonald, J., Interisano, S., & Yarasheski, K. (1995). The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can J Appl Physiol*, 20(4), 480–486. <https://doi.org/10.1139/h95-038>
- Manjarrez-Montes-de-Oca, R., Torres-Vaca, M., González-Gallego, J., & Alvear-Ordenes, I. (2015). El ??-hidroxi-??-metilbutirato (HMB) como suplemento nutricional (I): metabolismo y toxicidad. *Nutricion Hospitalaria*, 31(2), 590–596. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.2.8432>
- Melnik, B. (2012). Leucine signaling in the pathogenesis of type 2 diabetes and obesity. *World Journal of Diabetes*, 3(3), 38. <https://doi.org/10.4239/wjd.v3.i3.38>
- Metab Oseo Y Min, 10(2), 98–102. Retrieved from www.researchgate.net/...sarcopenia.../00b4952b1e4884ffb8000000.pdf%5Cn
- Nelson, A., Phillips, S., Stellingwerff, T., Rezzi, S., Bruce, S., Breton, I., Rowlands, D. (2012). A protein-leucine supplement increases branchedchain amino acid and nitrogen turnover but not performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(1), 57–68. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182290371>
- Pasiakos, S., Lieberman, H., & McLellan, T. (2014). Effects of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: A systematic review. *Sports Medicine*, 44(5), 655–670. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0137-7>

- Pasiakos, S., McClung, H., McClung, J., Margolis, L., Andersen, N., Cloutier, G., Young, A. (2011). Leucine-enriched essential amino acid supplementation during moderate steady state exercise enhances postexercise muscle protein synthesis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 94(3), 809–818. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.017061>
- Pasiakos, S., McLellan, T., & Lieberman, H. (2015). The Effects of Protein Supplements on Muscle Mass, Strength, and Aerobic and Anaerobic Power in Healthy Adults: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 45(1), 111–131. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0242-2>
- Pencharz, P., Elango, R., & Ball, R. (2012). Determination of the Tolerable Upper Intake Level of Leucine in Adult Men 1 – 3, 3. <https://doi.org/10.3945/jn.112.160259>.The
- Reitelseder, S., Agergaard, J., Doessing, S., Helmark, I. C., Schjerling, P., Van Hall, G., Holm, L. (2014). Positive muscle protein net balance and differential regulation of atrogene expression after resistance exercise and milk protein supplementation. *European Journal of Nutrition*, 53(1), 321–333. <https://doi.org/10.1007/s00394-013-0530-x>
- Robinson, E., Stout, J., Miramonti, A., Fukuda, D., Wang, R., Townsend, J., Hoffman, J. (2014). High-intensity interval training and β hydroxy- β -methylbutyric free acid improves aerobic power and metabolic thresholds. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-16>
- Rowlands, D., Nelson, A., Phillips, S., Faulkner, J., Clarke, J., Burd, N., Stellingwerff, T. (2014). Protein-leucine fed dose effects on muscle protein synthesis after endurance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(3), 547–555. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000447>
- Schoenfeld, B., Aragon, A., & Krieger, J. (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 53. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-53>
- Spillane, M., Emerson, C., & Willoughby, D. (2012). The effects of 8 weeks of heavy resistance training and branched-chain amino acid supplementation on body composition and muscle performance. *Nutrition and Health*, 21(4), 263– 273. <https://doi.org/10.1177/0260106013510999>
- Trabal, J., Forga, M., Leyes, P., Torres, F., Rubio, J., Prieto, E., & Farran-Codina, A. (2015). Effects of free leucine supplementation and resistance training on muscle strength and functional status in older adults: A randomized controlled trial. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 713–723. <https://doi.org/10.2147/CIA.S75271>
- Van Loon, L. (2012). Leucine as a pharmaconutrient in health and disease. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 15(1), 71–77. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32834d617a>
- Velázquez, C., Esther, M., & Camacho, I. (2012). Salud muscular y prevención de sarcopenia : el efecto de la proteína, leucina y β -hidroxi- β -metilbutirato. *Rev*
- Williams, M. (2005). Dietary Supplements and Sports Performance: Amino Acids. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2(2), 63. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-2-2-63>
- Wilson, J., Loenneke, J., Jo, E., Wilson, G., Zourdos, M., & Kim, J. (2012). The Effects of Endurance, Strength, and Power Training on Muscle Fiber Type Shifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1724–1729. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234eb6f>

- Wilson, J., Lowery, R., Joy, J., Walters, J., Baier, S., Fuller, J., Rathmacher, J. (2013). β -Hydroxy- β -methylbutyrate free acid reduces markers of exercise-induced muscle damage and improves recovery in resistance-trained men. *British Journal of Nutrition*, 110(3), 538–544. <https://doi.org/10.1017/S0007114512005387>
- Wilson, J., Wilson, S., Loenneke, J., Wray, M., Norton, L., Campbell, B., Stout, J. (2012). Effects of Amino Acids and their Metabolites on Aerobic and Anaerobic Sports. *Strength & Conditioning Journal*, 34(4). Retrieved from http://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/2012/08000/Effects_of_Amino_Acids_and_their_Metabolites_on.8.a_spx
- Yang, Y., Breen, L., Burd, N., Hector, A., Churchward-Venne, T., Josse, A., Phillips, S. (2012). Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *British Journal of Nutrition*, 108(10), 1780–1788. <https://doi.org/10.1017/S0007114511007422>
- Yonamine, C., Teixeira, S., Campello, R., Gerlinger-Romero, F., Rodrigues, C., Guimarães-Ferreira, L., Nunes, M. (2014). Beta hydroxy beta methylbutyrate supplementation impairs peripheral insulin sensitivity in healthy sedentary Wistar rats. *Acta Physiologica*, 212(1), 62–74. <https://doi.org/10.1111/apha.12336>