



ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 PARA LA ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO Y LA RECUPERACIÓN DEL EJERCICIO: UNA PERSPECTIVA CENTRADA EN LOS MÚSCULOS DE LOS DEPORTISTAS

Oliver C. Witard, Ph.D. | Centro de Ciencias Humanas y Fisiológicas Aplicadas, Facultad de Biociencias Médicas y Básicas, Departamento de Ciencias de la Nutrición, Facultad de Medicina y Ciencias de la vida, King's College Londres, UK.

Jon-Kyle Davis, Ph.D., CSCS | Gatorade Sports Science Institute

PUNTOS CLAVE

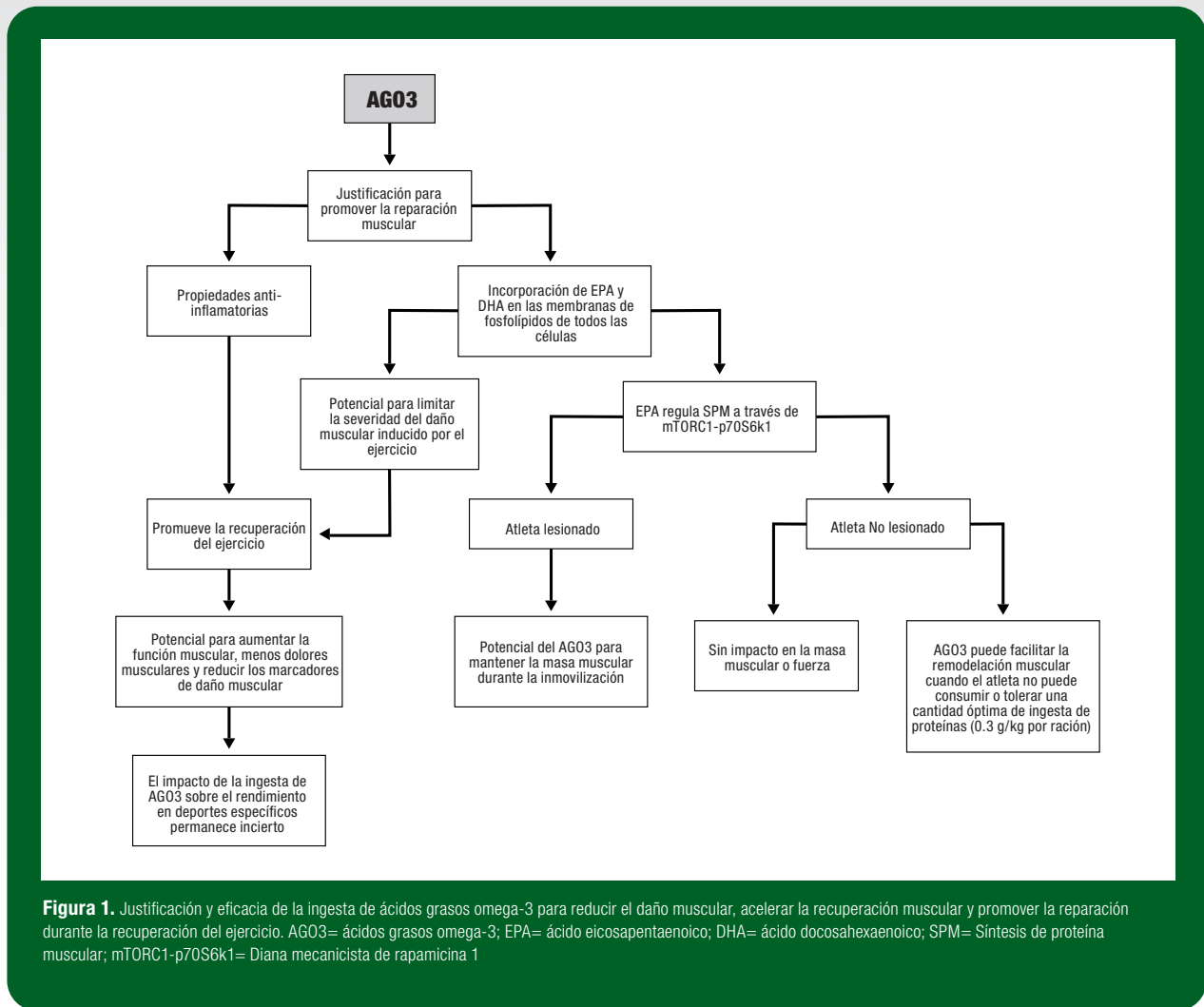
- Actualmente la evidencia científica que respalda el papel de los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (AGO3) en la promoción de la hipertrofia muscular y las ganancias de fuerza en los atletas es débil, al menos si el atleta sigue las pautas estándar de nutrición deportiva para apoyar el desarrollo muscular, como un balance energético positivo y una ingesta suficiente de proteínas en la dieta.
- El consumo de AGO3 puede facilitar la remodelación de la proteína del músculo esquelético cuando el atleta no puede consumir o tolerar la ingesta de una dosis óptima de proteína (~ 0,3 g/kg de masa corporal) durante la recuperación posterior al ejercicio.
- La evidencia preliminar respalda un papel de pre-habilitación/rehabilitación de los AGO3 en el mantenimiento de la masa muscular durante el desuso muscular inducido por lesiones a corto plazo que origina un período prolongado de inmovilización de la extremidad, por ejemplo, un aparato ortopédico o yeso para la pierna. Se requieren estudios de casos en un entorno de lesiones de la vida real para conocer más sobre el papel protector de los AGO3 en la masa muscular durante la recuperación de la lesión.
- Los hallazgos iniciales no apoyan la idea de que el aumento de la ingesta de AGO3 promoverá una pérdida de peso de alta calidad durante períodos cortos de restricción energética. Esta noción se aplica a los atletas que tienen el objetivo de reducir la masa grasa y preservar la masa muscular, como ocurre en los deportes de categoría de peso, los deportes estéticos o los deportes que exigen una relación potencia/masa particularmente alta.
- Estudios recientes proporcionan evidencia prometedora sobre el papel de los AGO3 en la aceleración de la recuperación de ejercicios intensos que producen "daño muscular", aunque se requiere más trabajo en diferentes contextos deportivos.
- Se necesitan más investigaciones para comprender mejor la dosis óptima de AGO3 y la proporción de ácido eicosapentaenoico (EPA) a ácido docosahexaenoico (DHA) para apoyar mejor la recuperación muscular en atletas y en una variedad de contextos de rendimiento, por ejemplo, restricción de energía, desuso muscular inducido por lesiones, reparación y recuperación muscular.

INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (AGO3) son una familia de ácidos grasos de cadena larga biológicamente activos. Las formas de AGO3 más abundantes y bioactivas son el ácido eicosapentaenoico (EPA; 20: 5 n-3), el ácido docosahexaenoico (DHA; 22: 6 n-3) y el ácido α -linolénico (ALA; 18: 3 n-3), (Calder, 2015). Recientemente, los AGO3 han recibido una considerable atención de investigación en el contexto de la salud y el rendimiento de los atletas, particularmente en lo que respecta a promover la adaptación muscular al entrenamiento físico y acelerar la recuperación del ejercicio (Da Boit et al., 2017b; Philpott et al., 2019a). El fundamento científico que sustenta el vínculo entre los AGO3, la adaptación muscular y la recuperación del ejercicio se deriva de dos acciones biológicas conocidas, distintas, pero probablemente interrelacionadas (Calder, 2012). Primero, los AGO3 se incorporan fácilmente a la membrana de fosfolípidos de todos los tipos de células, incluidas las células del músculo esquelético, y sirven para regular al alza la actividad de las vías de señalización celular que se sabe que controlan la remodelación del tejido muscular (Gerling et al., 2019; McGlory et al., 2014). En segundo lugar, las propiedades antiinflamatorias de AGO3 sirven como justificación razonable para explorar su eficacia para acelerar el proceso de reparación muscular cuando el objetivo del atleta es promover la recuperación entre sesiones de entrenamiento (por ej., 2-3 sesiones de entrenamiento/día) y/o durante competencias (por ejemplo, intervalos de 4-8 horas entre series, carreras o eventos o intervalos de 2-4 días entre partidos), (Calder, 2006). Dado que estos procesos fisiológicos sustentan, (a) la respuesta de adaptación muscular al entrenamiento físico, y (b) el

proceso de reparación muscular durante la recuperación del ejercicio, existe un interés actual en las aplicaciones de la ingesta de AGO3 para el rendimiento deportivo (Figura 1).

Las fuentes de alimentos comunes ricas en AGO3 incluyen pescados grasos de agua fría como la caballa, las sardinas, el salmón, la trucha y el arenque. Se remite al lector al artículo de Sports Science Exchange de Rockwell & Ritz (2021) que proporciona una descripción más detallada de las fuentes alimentarias y la suplementación con AGO3. El propósito principal de este artículo de Sports Science Exchange es evaluar críticamente las publicaciones científicas que examinan su eficacia para promover el rendimiento de los atletas. Adoptamos una perspectiva centrada en los músculos, enfocándonos en el papel de AGO3 en la promoción de la adaptación del músculo esquelético al entrenamiento físico y la reparación muscular durante la recuperación del ejercicio. Esta narrativa está organizada en tres secciones principales. Primero, el papel de AGO3 en facilitar el proceso de remodelación de proteínas musculares que sustenta la hipertrofia muscular. En segundo lugar, el papel de los AGO3 en la preservación de la masa corporal magra durante condiciones catabólicas como la pérdida de peso o la inmovilización inducida por lesiones, y tercero, el papel de los AGO3 en facilitar la reparación muscular durante el período de recuperación aguda del ejercicio. El artículo concluye destacando las lagunas existentes en el conocimiento y sugerencias para futuras direcciones de investigación relacionadas con los AGO3, la adaptación al entrenamiento y la recuperación del ejercicio en atletas. Como nota de precaución señalamos que se ha realizado un número limitado de estudios en este campo en poblaciones de deportistas de élite. Por lo



tanto, la evaluación crítica del papel de los AG03 en la promoción de la adaptación al entrenamiento y la recuperación del ejercicio se basa principalmente en la extrapolación de datos de estudios en humanos entrenados de forma recreativa o no entrenados, así como en estudios en animales y experimentos realizados en cultivo celular (Da Boit et al., 2017a; McGlory et al., 2019b; Philpott et al., 2019a).

ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 E HIPERTROFIA MUSCULAR

Síntesis de proteína muscular y señalización de células anabólicas

El tejido del músculo esquelético se está remodelando constantemente a través de los procesos metabólicos simultáneos de síntesis de proteína muscular (SPM) y degradación de proteína muscular (DPM), denominados colectivamente recambio de proteína muscular. Esta renovación continua sirve para degradar las proteínas viejas y/o dañadas, y sintetizar proteínas nuevas y más funcionales, para mantener la masa y la calidad del músculo esquelético. El principal impulsor metabólico de la hipertrofia muscular, de particular relevancia para los atletas de fuerza/potencia, es una mayor estimulación de la

SPM, específicamente de las proteínas miofibrilares contráctiles (por ej., actina, miosina, tropomiosina), en respuesta al entrenamiento con ejercicios de resistencia y la ingesta de proteínas (McGlory y Phillips, 2014). El proceso metabólico de SPM está regulado a nivel molecular por la actividad de las proteínas de señalización anabólicas de la vía diana mecanicista de la rapamicina 1 (mTORC1) que se encuentra dentro de la propia célula muscular (Kimball et al., 1998). En consecuencia, las estrategias nutricionales destinadas a desencadenar esta cascada de señalización de células anabólicas y maximizar la respuesta de la SPM (y, por extensión, la respuesta hipertrofica muscular) al ejercicio de resistencia en poblaciones atléticas, se han centrado principalmente en manipular la dosis por comida/porción, la fuente o el momento de la proteína ingerida (Witard et al., 2016). El trabajo desarrollado en esta área ha proporcionado, y continúa proporcionando, una visión práctica considerable en términos de maximizar la respuesta hipertrofica del músculo a la alimentación con proteínas.

Un tema de interés relacionado, y quizás más contemporáneo, con respecto a la modulación nutricional de la masa muscular se refiere a la interacción de las proteínas con otros nutrientes con el fin de aumentar la utilización de proteínas ingeridas para la SPM. Si bien se

ha estudiado en detalle la capacidad de los carbohidratos para mejorar la respuesta de la SPM a la proteína ingerida (Staples et al., 2011), solo recientemente se ha prestado atención al papel de los ácidos grasos en el aumento de la utilización de la proteína consumida. En este sentido, los hallazgos de dos estudios experimentales en adultos jóvenes y mayores despertaron un interés considerable en la potencial "acción anabólica muscular" de los AGO3 (Smith et al., 2011a; Smith et al., 2011b). En estas "pruebas de concepto" (es decir, configuradas para probar una hipótesis de trabajo en lugar de imitar un entorno del mundo real), estudios metabólicos estrictamente controlados midieron las tasas de SPM en condiciones basales (es decir, en ayunas y en reposo), así como antes y después de 8 semanas de suplementación con AGO3 derivado de aceite de pescado (4 g/día) (1,86 g/día EPA, 1,50 g/día DHA) en condiciones simuladas de alimentación. Se infundieron aminoácidos e insulina por vía intravenosa para imitar la ingesta de una comida de macronutrientes mixtos rica en proteínas. Aunque la respuesta basal de la SPM no fue modulada por los AGO3, la estimulación inducida por la alimentación de SPM mejoró en un 30-60% luego de la suplementación con AGO3. Además, el estado de fosforilación de las proteínas de señalización celular intramuscular que se sabe que regulan positivamente la SPM (por ejemplo, mTORC1-p70S6k1) aumentó en respuesta a la alimentación simulada después de la suplementación con AGO3. Otra observación interesante, aunque basada en datos generados *in vitro* usando modelos celulares, sugiere que el EPA, en lugar del DHA, es la especie de AGO3 activa en la regulación positiva de la SPM en respuesta a un estímulo anabólico (leucina) (Kamolrat y Gray, 2013). Tomados en conjunto, estos datos preliminares sugieren que la acción anabólica del AGO3 está mediada por un mecanismo indirecto (en lugar de ejercer un efecto anabólico directo), específicamente con EPA, sensibilizando al músculo esquelético a potentes estímulos anabólicos como los aminoácidos y la insulina.

El mecanismo propuesto más comúnmente para explicar esta "acción inicial" indirecta del AGO3 en la estimulación de la SPM implica su incorporación directa en la membrana fosfolípida del músculo esquelético. De acuerdo con esta idea, un estudio reciente informó un aumento de ~100% en la composición de AGO3 (principalmente de EPA) de los fosfolípidos del músculo esquelético después de 4 semanas de suplementación con AGO3 a dosis elevadas (~5 g/día; ~3 g de EPA y ~2 g de DHA), (McGlory et al., 2014). En este estudio, tales modificaciones estructurales de la membrana de fosfolípidos de las células musculares también coincidieron con un aumento de la fosforilación de mTORC1, una proteína de señalización celular sensible a los nutrientes, y la quinasa de adhesión focal, una proteína mecánicamente sensible que se sabe que regula la SPM. En contraste, no se observaron cambios en las concentraciones de factor de necrosis tumoral- α o proteína C reactiva como marcadores sistémicos de inflamación durante un período de 8 semanas de suplementación con AGO3 (Smith et al., 2011b). Por lo tanto, con base en el conocimiento existente, el mecanismo principal que sustenta la posible acción anabólica de AGO3 se relaciona con la modificación del perfil lipídico de la membrana de fosfolípidos del músculo que posteriormente regula al alza la actividad de las proteínas de señalización de células anabólicas, en contraposición a una respuesta antiinflamatoria. Aún no se ha esclarecido por completo cómo este

cambio en la composición de la membrana de fosfolípidos del músculo regula al alza la señalización de las células anabólicas y, por lo tanto, justifica la investigación por parte de científicos con experiencia en la metodología lipídica (estudio a gran escala de vías y redes de lípidos celulares).

En los últimos años, McGlory et al. (2016) y otros (Lalia et al., 2017) hemos ampliado estos estudios de prueba de concepto para investigar el potencial anabólico del AGO3 utilizando diseños experimentales que imitan más de cerca las prácticas de nutrición y entrenamiento de los deportistas de élite. En lugar de administrar aminoácidos e insulina por vía intravenosa para simular la alimentación, los estímulos anabólicos incluyeron una dosis ingerida por vía oral de proteína intacta, una comida mixta de macronutrientes estandarizada y/o una(s) sesión(es) de ejercicio de fuerza. Basados en observaciones de experimentos en células (Kamolrat y Gray, 2013), estos estudios administraron un protocolo de suplementación de aceite de pescado en dosis elevada (3-5 g/día) que era rico en contenido de EPA. Demostramos que 8 semanas de suplementación con AGO3 (3,5 g/día EPA) derivado de aceite de pescado (5 g/día) no logró modular la respuesta de SPM a la ingestión de un bolo de 30g de proteína de suero (0,35 g/kg de masa corporal) tanto en condiciones de descanso y post-ejercicio en hombres jóvenes entrenados (McGlory et al., 2016). Por lo tanto, cuando se ingiere una dosis de proteína que se sabe que estimula una respuesta máxima de SPM, la suplementación con AGO3 no parece conferir ninguna ventaja en términos de aumentar la respuesta anabólica muscular. Como tal, es concebible que la dosis de 30 g de proteína de suero ingerida en este estudio saturara la maquinaria sintética de proteína muscular (Witard et al, 2014). Por lo tanto, se justifican nuevas investigaciones sobre el impacto de la ingesta de AGO3 en la respuesta de SPM al consumo de una dosis de proteína subóptima. En términos de práctica aplicada, estos datos pueden revelar un papel específico del contexto para el AGO3 en facilitar la remodelación de proteínas del músculo esquelético si el atleta no puede tolerar la ingestión de una dosis óptima (~0,3 g/kg) de proteína durante la recuperación del ejercicio.

Masa y fuerza muscular

Aunque las mediciones de SPM son el marcador agudo considerado como "estándar de oro" para el crecimiento muscular, la acción anabólica del AGO3 también se ha investigado empleando estudios longitudinales (Da Boit et al., 2017a; Smith et al., 2015). Estos estudios longitudinales miden directamente los cambios en la masa muscular y la fuerza en respuesta a un período de suplementación con AGO3, como se resume en una revisión sistemática reciente (Heileson y Funderburk, 2020). La mayoría de estos trabajos se han realizado en cohortes de adultos mayores y, en conjunto, proporcionan resultados prometedores, especialmente en mujeres mayores (Da Boit et al., 2017a; Smith et al., 2015). Por ejemplo, Da Boit et al. (2017a) reportaron que una mejora en la fuerza muscular (pero no en la masa muscular) después de 18 semanas de entrenamiento de resistencia aumentó con la suplementación con AGO3 en mujeres mayores. Sin embargo, no se observó tal beneficio de la ingesta de AGO3 en hombres mayores. De acuerdo con esta observación, la suplementación con AGO3 (2 g/día de aceite de pescado) durante 13 semanas de entrenamiento de resistencia resultó en ganancias de

fuerza superiores en comparación con solo el entrenamiento (Rodacki et al., 2012). Por esta razón, se justifican estudios futuros para confirmar la aparente diferencia de sexo en la respuesta de adaptación muscular al entrenamiento de resistencia con la ingesta de AGO3 y, en segundo lugar, determinar el mecanismo o los mecanismos que sustentan este aparente dimorfismo sexual en respuesta a la ingesta de AGO3.

En comparación con los adultos mayores, relativamente pocos estudios han medido cambios en la masa muscular y/o fuerza con la suplementación de AGO3 en poblaciones atléticas más jóvenes. La evidencia existente es menos prometedora con aumentos insignificantes (Couet et al., 1997), o en el mejor de los casos aumentos mínimos (por ej., 0,2 - 0,5 kg) (Noreen et al., 2010) en la masa corporal magra reportados durante un período de 3-6 semanas de suplementación con AGO3 en hombres y mujeres entrenados. Además, no reportamos mejoras en la fuerza o la potencia cuando jugadores de fútbol competitivo masculinos y femeninos suplementaron su dieta con AGO3 durante un período de entrenamiento usual de 4 semanas (Gravina et al., 2017). En conjunto, la noción de que el AGO3 ofrece una estrategia nutricional eficaz para mejorar el anabolismo muscular se basa principalmente en datos generados en poblaciones adultas mayores, y más comprometidas, que pueden considerarse más resistentes a los estímulos anabólicos del ejercicio de fuerza y la ingestión de proteínas. En comparación, la eficacia de la ingesta de AGO3 para promover la respuesta hipertrófica muscular al entrenamiento físico en atletas de élite parece ser débil, al menos si el atleta sigue las pautas estándar de nutrición deportiva para apoyar el desarrollo muscular, un balance energético positivo y una ingesta suficiente de proteínas en la dieta.

ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 Y PRESERVACIÓN DE LA MASA MUSCULAR DURANTE CONDICIONES CATABÓLICAS

Desuso muscular inducido por lesiones

En años recientes, el interés en el AGO3 desde una perspectiva centrada en el músculo se ha expandido para explorar su papel "protector" durante condiciones catabólicas (McGlory et al., 2019b). En términos prácticos, estos estudios pueden aplicarse al atleta lesionado (por ej., fractura de pierna) que se ve obligado a un período prolongado de inmovilización de la extremidad con el consecuente desuso muscular. La atrofia muscular asociada con períodos de desuso se debe, en parte, a una estimulación alterada de la SPM en respuesta a la proteína ingerida (Wall et al., 2013), un concepto que a menudo se acuña como "resistencia anabólica muscular". Curiosamente, las atletas parecen ser más susceptibles a períodos de desuso muscular ya que tienen ~3 veces más probabilidades de sufrir lesiones del ligamento cruzado anterior en comparación con los varones (Prodromos et al., 2007).

En consecuencia, un elegante estudio reciente investigó la influencia de la suplementación con AGO3 (3 g/día de EPA, 2 g/día de DHA) sobre los cambios en la masa muscular y las tasas de SPM después de 2 semanas de yeso en las piernas de mujeres jóvenes entrenadas (McGlory et al., 2019a). La masa magra de las piernas se redujo en un 6% antes y después en el grupo control (aceite de girasol), sin embargo,

no hubo cambios en la masa magra de las piernas en ningún momento en el grupo AGO3. Además, después de 2 semanas de rehabilitación, el volumen muscular volvió a los niveles iniciales con la suplementación con AGO3, pero permaneció por debajo del valor inicial en el grupo control. Acompañando la retención del volumen muscular durante la atrofia por desuso muscular simulada hubo una mayor respuesta de SPM tanto en el cese inmediato de la inmovilización de la pierna como después de 2 semanas de haberla movilizad. Curiosamente, en este estudio, la suplementación con AGO3 no confirió ningún efecto protector sobre la disminución de la fuerza muscular. Como tal, estos datos corroboran un papel de pre-habilitación/rehabilitación del AGO3 durante períodos cortos de desuso muscular inducido por lesiones que son particularmente comunes en muchos deportes de equipo. Como nota de precaución, señalamos que este estudio se realizó en el contexto de atrofia por desuso muscular "sin complicaciones", es decir, sin las complicaciones inherentes que acompañan a la lesión, como una inflamación excesiva y una respuesta de estrés magnificada (es decir, cortisol alto). Por lo tanto, se justifican estudios futuros que imiten más de cerca las lesiones de la vida real para dilucidar completamente el papel de AGO3 en la preservación de la masa muscular durante la lesión y que probablemente incluyan diseños de investigación de tipo estudio de caso más reactivos (es decir, tan pronto como un atleta se lesiona).

Pérdida de peso de alta calidad

Otra aplicación práctica de la ingesta de AGO3 se encuentra en el contexto de "proteger" la masa muscular durante un escenario catabólico. Esto concierne a los atletas que tienen el objetivo de "pérdida de peso de alta calidad", definida aquí como la pérdida de masa grasa y preservación de la masa muscular durante la restricción calórica (Witard et al., 2019). Por ejemplo, es probable que los atletas de deportes de categoría de peso, deportes que exigen una relación potencia-masa particularmente alta o deportes estéticos se interesen mucho en los posibles efectos "protectores" del AGO3 durante los períodos catabólicos de balance energético negativo. Nuestro estudio reciente examinó la influencia de la suplementación con AGO3 durante 2 semanas de balance energético negativo sobre los cambios en la masa corporal magra (MLG) y la masa grasa en atletas entrenados en resistencia (Philpott et al., 2019b). Los atletas (n= 20) se sometieron a 2 semanas de restricción de calorías del 40% con la mitad de los participantes consumiendo una bebida AGO3 dos veces al día, y los otros participantes tomando un placebo de carbohidratos, mientras continuaban con su programa de entrenamiento habitual. Después de 2 semanas de suplementación, los participantes perdieron cantidades similares de masa corporal, masa corporal magra y masa grasa independientemente de la condición dietética. Hasta donde sabemos, este es el único estudio hasta la fecha que ha investigado la influencia de AGO3 en los cambios en la composición corporal durante la pérdida de peso en atletas. Si bien estos datos iniciales no respaldan un papel para aumentar la ingesta de AGO3 durante los períodos de restricción calórica, se justifican estudios futuros para examinar el impacto de su ingesta en la atrofia muscular durante períodos más largos de restricción energética en los atletas.

REPARACIÓN MUSCULAR Y ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3

Las primeras 96 horas después del ejercicio se definen comúnmente como el período de recuperación aguda y se considera crucial para optimizar el rendimiento atlético posterior y minimizar el riesgo de lesión de los tejidos blandos. El fundamento biológico para investigar la influencia de la ingesta de AGO3 en la recuperación aguda del ejercicio puede considerarse doble. En primer lugar, AGO3 tiene el potencial de limitar la gravedad del daño de las fibras musculares que se produce después de un ejercicio de alta intensidad que consiste en repetidas contracciones musculares excéntricas. En teoría, la incorporación directa de EPA y DHA en la membrana de fosfolípidos después de la ingestión de AGO3 sirve para aumentar la integridad estructural de la membrana de las células musculares, limitando así la gravedad del daño muscular inducido por el ejercicio. En segundo lugar, los AGO3 tienen el potencial de acelerar el proceso de reparación muscular amortiguando la respuesta inflamatoria al ejercicio que daña los músculos (Calder, 2006).

Estudios de laboratorio

Una serie de estudios de laboratorio han examinado la influencia del AGO3 en la función muscular, el dolor muscular percibido y los marcadores indirectos de daño muscular (por ej., concentraciones de creatina quinasa (CK) en sangre) durante la recuperación aguda (0-72 h) del ejercicio excéntrico. En general, los hallazgos pueden considerarse mixtos. Algunos muestran un mejor mantenimiento de la función muscular, menos dolor y reducción del daño muscular durante la recuperación del ejercicio con la suplementación con AGO3 (Jouris et al., 2011; Tartibian et al., 2010). Pero no todos reportaron los mismos resultados (McKinley-Barnard et al., 2018). Estos hallazgos discrepantes pueden atribuirse a varios factores, que incluyen las diferencias en el diseño experimental, la variación en la dosis (2-4 g/día) y la duración (7 días-8 semanas) de la suplementación con AGO3.

Estudios aplicados

Si bien los estudios de laboratorio proporcionan evidencia moderada del papel de los AGO3 en la aceleración de la recuperación del ejercicio, la aplicación directa de estos datos a los atletas debe considerarse con precaución por varias razones. Primero, estos estudios se realizan usualmente en sujetos desentrenados con el fin de provocar un nivel máximo de daño muscular por un ejercicio al que no están acostumbrados. En segundo lugar, el protocolo de daño muscular (dinamometría isocinética) no simula movimientos deportivos como cambios rápidos de dirección y/o desaceleraciones repentinas que causan daño muscular. En tercer lugar, la relevancia práctica de las mediciones de la función muscular (usando dinamometría isocinética, etc.) para el rendimiento deportivo es débil.

En un intento por abordar estas limitaciones, se han realizado estudios más aplicados en jugadores de fútbol de sub-élite (Philpott et al., 2018) y jugadores de rugby profesionales (Black et al., 2018). Durante el período de 72 horas después del ejercicio de daño muscular, los jugadores de fútbol en el grupo de suplementación con AGO3 reportaron niveles reducidos de dolor muscular. El grupo de suplementación con AGO3 también experimentó una reducción en las concentraciones de CK en sangre en comparación con las condiciones de placebo (proteína de suero o carbohidratos). Como

tal, estos datos implican que la suplementación con AGO3 protegió a la célula muscular del protocolo de daño muscular y, en teoría, los jugadores de fútbol experimentaron un daño muscular reducido durante el ejercicio. Sin embargo, la aplicación de esta respuesta fisiológica de la suplementación con AGO3 al rendimiento deportivo específico sigue sin estar clara. Aunque se observó una mejora en el rendimiento del salto en contra movimiento con la suplementación de AGO3 en jugadores profesionales de Rugby Union durante 5 semanas de entrenamiento de pretemporada, no se informó ningún impacto de la ingesta de AGO3 en las pruebas de rendimiento del fútbol, como la prueba de recuperación intermitente de yo-yo (prueba de campo específica de fútbol de capacidad aeróbica), o la prueba de pases de fútbol de Loughborough. Se necesitan más investigaciones para conocer el impacto de la ingesta de AGO3 en un contexto deportivo específico (por ej., después de un partido de fútbol simulado) en diferentes deportes.

CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

En resumen, recientemente se ha centrado una considerable atención sobre la investigación en la eficacia de la ingesta de AGO3 para acelerar la recuperación posterior al ejercicio y promover la adaptación muscular al entrenamiento físico. La evidencia que respalda el papel de AGO3 en la promoción de la masa muscular y las adaptaciones de la fuerza de los atletas parece ser débil. Además, los hallazgos iniciales no apoyan el papel del aumento de la ingesta de AGO3 durante los períodos de restricción de kilocalorías cuando el objetivo del atleta es la pérdida de peso de alta calidad. La evidencia preliminar respalda el papel del AGO3 en la recuperación muscular y la prevención/rehabilitación de lesiones en poblaciones atléticas, pero se requieren más investigaciones en el contexto del mundo real en atletas de élite, es decir, estudios de casos sobre atletas lesionados. También se justifica la investigación futura para comprender mejor la dosis óptima de AGO3 y/o la proporción de EPA a DHA para la adaptación y recuperación muscular en una variedad de contextos deportivos.

Jon-Kyle Davis trabaja para el Gatorade Sports Science Institute, una división de PepsiCo, Inc. Los puntos de vista expresados son de los autores y no necesariamente reflejan la posición o política de PepsiCo, Inc.

REFERENCIAS

- Black, K.E., O.C. Witard, D. Baker, P. Healey, V. Lewis, F. Tavares, S. Christensen, T. Pease, and B. Smith (2018). Adding omega-3 fatty acids to a protein-based supplement during pre-season training results in reduced muscle soreness and the better maintenance of explosive power in professional Rugby Union players. *Eur. J. Sport. Sci.* 18:1357-1367.
- Calder, P.C. (2006). Polyunsaturated fatty acids and inflammation. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids* 75:197-202.
- Calder, P.C. (2012). Mechanisms of action of (n-3) fatty acids. *J. Nutr.* 142:592S-599S.
- Calder, P.C. (2015). Functional roles of fatty acids and their effects on human health. *J. Parenter. Enteral Nutr.* 39:18S-32S.
- Couet, C., J. Delarue, P. Ritz, J.M. Antoine, and F. Lamisse (1997). Effect of dietary fish oil on body fat mass and basal fat oxidation in healthy adults. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 21:637-643.
- Da Boit, M., R. Sibson, S. Sivasubramaniam, J.R. Meakin, C.A. Greig, R.M. Aspden, F. Thies, S. Jeromson, D.L. Hamilton, J.R. Speakman, C. Hambly, A.A. Mangoni, T. Preston, and S.R. Gray (2017a). Sex differences in the effect of fish-oil supplementation on the adaptive response to resistance exercise training in older people: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 105:151-158.

- Da Boit, M., A.M. Hunter, and S.R. Gray (2017b). Fit with good fat? The role of n-3 polyunsaturated fatty acids on exercise performance. *Metabolism* 66:45-54.
- Gerling, C.J., K. Mukai, A. Chabowski, G.J.F. Heigenhauser, G.P. Holloway, L.L. Spriet, and S. Jannas-Vela (2019). Incorporation of omega-3 fatty acids into human skeletal muscle sarcolemmal and mitochondrial membranes following 12 weeks of fish oil supplementation. *Front. Physiol.* 10:348.
- Gravina, L., F.F. Brown, L. Alexander, J. Dick, G. Bell, O.C. Witard, and S.D.R. Galloway (2017). n-3 fatty acid supplementation during 4 weeks of training leads to improved anaerobic endurance capacity, but not maximal strength, speed, or power in soccer players. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 27:305-313.
- Heilesen, J.L., and L.K. Funderburk (2020). The effect of fish oil supplementation on the promotion and preservation of lean body mass, strength, and recovery from physiological stress in young, healthy adults: a systematic review. *Nutr. Rev.* 78:1001-1014.
- Jouris, K.B., J.L. McDaniel, and E.P. Weiss (2011). The effect of omega-3 fatty acid supplementation on the inflammatory response to eccentric strength exercise. *J. Sports Sci. Med.* 10:432-438.
- Kamolrat, T., and S.R. Gray (2013). The effect of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid on protein synthesis and breakdown in murine C2C12 myotubes. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 432:593-598.
- Kimball, S.R., R.L. Horetsky, L.S. and Jefferson (1998). Signal transduction pathways involved in the regulation of protein synthesis by insulin in L6 myoblasts. *Am. J. Physiol.* 274:C221-C228.
- Lalia, A.Z., S. Dasari, M.M. Robinson, H. Abid, D.M. Morse, K.A. Klaus, and I.R. Lanza (2017). Influence of omega-3 fatty acids on skeletal muscle protein metabolism and mitochondrial bioenergetics in older adults. *Aging* 9:1096-1129.
- McGlory, C., and S.M. Phillips (2014). Assessing the regulation of skeletal muscle plasticity in response to protein ingestion and resistance exercise: recent developments. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 17: 412-417.
- McGlory, C., S.D. Galloway, D.L. Hamilton, C. McClintock, L. Breen, J.R. Dick, J.G. Bell, and K.D. Tipton (2014). Temporal changes in human skeletal muscle and blood lipid composition with fish oil supplementation. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids* 90:199-206.
- McGlory, C., S.L. Wardle, L.S. Macnaughton, O.C. Witard, F. Scott, J. Dick, J.G. Bell, S.M. Phillips, S.D. Galloway, D.L. Hamilton, and K.D. Tipton (2016). Fish oil supplementation suppresses resistance exercise and feeding-induced increases in anabolic signalling without affecting myofibrillar protein synthesis in young men. *Physiol. Rep.* 4:e12715.
- McGlory, C., S.H.M. Gorissen, M. Kamal, R. Bahniwal, A.J. Hector, S.K. Baker, A. Chabowski, and S.M. Phillips (2019a). Omega-3 fatty acid supplementation attenuates skeletal muscle disuse atrophy during two weeks of unilateral leg immobilization in healthy young women. *FASEB J.* 33:4586-4597.
- McGlory, C., P.C. Calder, and E.A. Nunes (2019b). The influence of omega-3 fatty acids on skeletal muscle protein turnover in health, disuse, and disease. *Front. Nutr.* 6:144.
- McKinley-Barnard, S.K., T.L. Andre, J.J. Gann, P.S. Hwang, and D.S. Willoughby (2018). Effectiveness of fish oil supplementation in attenuating exercise-induced muscle damage in women during midfollicular and midluteal menstrual phases. *J. Strength Cond. Res.* 32:1601-1612.
- Noreen, E.E., M.J. Sass, M.L. Crowe, V.A. Pabon, J. Brandauer, and L.K. Averill (2010). Effects of supplemental fish oil on resting metabolic rate, body composition, and salivary cortisol in healthy adults. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 7:31.
- Philpott, J.D., C. Donnelly, I.H. Walshe, E.E. MacKinley, J. Dick, S.D.R. Galloway, K.D. Tipton, and O.C. Witard (2018). Adding fish oil to whey protein, leucine, and carbohydrate over a six-week supplementation period attenuates muscle soreness following eccentric exercise in competitive soccer players. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28:26-36.
- Philpott, J.D., O.C. Witard, and S.D.R. Galloway (2019a). Applications of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation for sport performance. *Res. Sports Med.* 27:219-237.
- Philpott, J.D., N.J. Bootsma, N. Rodriguez-Sanchez, D.L. Hamilton, E. MacKinlay, J. Dick, S. Mettler, S.D.R. Galloway, K.D. Tipton, and O.C. Witard (2019b). Influence of fish oil-derived n-3 fatty acid supplementation on changes in body composition and muscle strength during short-term weight loss in resistance-trained men. *Front. Nutr.* 6:102.
- Prodromos, C.C., Y. Han, J. Rogowski, B. Joyce, and K. Shi (2007). A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy* 23:1320-1325.
- Rodacki, C.L., A.L. Rodacki, G. Pereira, K. Naliwaiko, I. Coelho, D. Pequito, and L.C. Fernandes (2012). Fish-oil supplementation enhances the effects of strength training in elderly women. *Am. J. Clin. Nutr.* 95:428-436.
- Smith, G.I., P. Atherton, D.N. Reeds, B.S. Mohammed, D. Rankin, M.J. Rennie, and B. Mittendorfer (2011a). Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 93:402-412.
- Smith, G.I., P. Atherton, D.N. Reeds, B.S. Mohammed, D. Rankin, M.J. Rennie, and B. Mittendorfer (2011b). Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women. *Clin. Sci.* 121:267-278.
- Smith, G.I., S. Julliard, D.N. Reeds, D.R. Sinacore, S. Klein, and B. Mittendorfer (2015). Fish oil-derived n-3 PUFA therapy increases muscle mass and function in healthy older adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 102:115-122.
- Staples, A.W., N.A. Burd, D.W. West, K.D. Currie, P.J. Atherton, D.R. Moore, M.J. Rennie, M.J. Macdonald, S.K. Baker, and S.M. Phillips (2011). Carbohydrate does not augment exercise-induced protein accretion versus protein alone. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43:1154-1161.
- Tartibian, B., B.H. Maleki, and A. Abbasi (2010). The effects of omega-3 supplementation on pulmonary function of young wrestlers during intensive training. *J. Sci. Med. Sport* 13:281-286.
- Wall, B.T., T. Snijders, J.M. Senden, C.L. Ottenbros, A.P. Gijzen, L.B. Verdijk, and L.J. van Loon (2013). Disuse impairs the muscle protein synthetic response to protein ingestion in healthy men. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 98:4872-4881.
- Witard, O.C., S.R. Jackman, L. Breen, K. Smith, A. Selby, and K.D. Tipton, K.D. (2014). Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 99:86-95.
- Witard, O.C., S.L. Wardle, L.S. Macnaughton, A.B. Hodgson, and K.D. Tipton (2016). Protein considerations for optimising skeletal muscle mass in healthy young and older adults. *Nutrients* 8:181.
- Witard, O.C., I. Garthe, and S.M. Phillips (2019). Dietary protein for training adaptation and body composition manipulation in track and field athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 29:165-174.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Oliver C. Witard y Jon-Kyle Davis (2021). Omega-3 fatty acids for training adaptation and exercise recovery: A muscle-centric perspective in athletes. *Sports Science Exchange*, Vol. 29, No. 211, 1-6, por el M.Sc. Pedro Reinaldo García.