

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: INFLAMACIÓN MUSCULAR RETARDADA.

Antonio Rafael Corrales Salguero

RESUMEN

En esta revisión se muestran los resultados obtenidos en estudios que se han realizado desde diciembre de dos mil dos hasta agosto de dos mil cuatro, todos ellos teniendo como contenido de unión la inflamación muscular retardada. Cada autor lo relaciona con temas variados como la ingesta de hidratos de carbono o proteínas, estrógeno y el músculo esquelético, efectos del calor profundo en la zona corporal que se va a someter a un ejercicio, los efectos del masaje...

Una de las características principales de las "agujetas" es la hipersensibilidad, la cual se manifiesta debido a una reducción del umbral del dolor a la estimulación mecánica, de tal manera que estímulos totalmente inocuos (como una ligera presión en la zona afectada) desencadena una sensación dolorosa. A este fenómeno se le denomina *alodinia mecánica*. Durante los últimos años, ha sido considerable el interés suscitado en la comunidad científica por las lesiones que se producen en los músculos como consecuencia de las contracciones musculares excéntricas. Este interés obedece en parte, a los efectos negativos que puede tener el daño muscular causado por las contracciones excéntricas sobre el rendimiento deportivo.

INTRODUCCIÓN

La inflamación muscular retardada, llamada en el lenguaje coloquial como "agujetas", es un fenómeno muy conocido por los atletas. Este fenómeno se da principalmente como resultado de la realización del ejercicio excéntrico con una intensidad y duración a

la que no se está acostumbrado, es decir, cuando se alarga el músculo en la fase de alargamiento en una acción varias veces repetida en un periodo de tiempo. En las fibras musculares se produce cierto tipo de lesión cuyo grado dependerá de la intensidad del ejercicio y como consecuencia se produce una reacción inflamatoria a causa de un aumento del número de glóbulos blancos en sangre. El ejercicio que implica el estiramiento de un músculo provoca que se activen las causas que dañan áreas microscópicas, provocando una inflamación muscular y una adaptación a resistencias posteriores de ejercicios similares. El diseño de la adaptación es consecuente con el número de sarcómeros en series en un músculo siendo modulado por el ejercicio, especialmente el rango de longitud del músculo sobre el cual sucede regularmente en un ejercicio excéntrico (Morgan DL y Proske U, 2004).

A continuación examinaremos las distintas variables que han sido analizadas para tratar de determinar la repercusión estructural y funcional que comporta la inflamación muscular retardada.

Estilo de ejecución económico de carrera

Braun WA y Dutto DJ (2003) realizaron un experimento para conocer las repercusiones en el estilo de carrera y en el mecanismo de zancada en sujetos que cuarenta y ocho horas antes habían realizado una ejecución de carrera cuesta abajo con el propósito de provocar inflamación muscular retardada. Los resultados obtenidos fueron una

disminución en la longitud de zancada ($r = -0.535$) y mayor dependencia de los métodos anaeróbicos de producción de energía, contribuyendo al cambio en el estilo económico de carrera cuando se sufre inflamación muscular retardada.

Ingesta de sustancias

Varios estudios hacen referencia a la ingesta adecuada o no de sustancias como hidratos de carbono y proteínas para determinar la repercusión sobre la inflamación muscular retardada.

Ingesta de carbohidratos

El estudio de Nelson MR y otros (2004) pretendían conocer los efectos que tiene la ingesta inadecuada de carbohidratos sobre la inflamación muscular retardada tras correr quince minutos cuesta abajo. La inflamación subjetiva del músculo incrementó un día después de la prueba ($p < .05$). También incrementó la circunferencia del muslo ($p < .05$) desde antes del tratamiento hasta el cuarto día. Por lo que la ingesta inadecuada de carbohidratos después del decrecimiento del glucógeno no parece agravar la inflamación muscular retardada y los síntomas asociados.

En otro estudio de Zehnder M y otros (2004), se pretendió disminuir la resíntesis del glucógeno después de hacer ejercicio excéntrico por medio de una dieta rica en carbohidratos (> 10 gr/kg masa corporal/24 horas). Se obtuvo una disminución del glucógeno del cincuenta por ciento. Las dos primeras horas después del ejercicio, el glucógeno cayó (-15.6 ± 15.7 mmol/kg ww). La reposición del glucógeno se obtuvo tras pasar más de un día.

Ingesta de proteínas

Miller PC y otros (2004) pretendieron evaluar los efectos de la suplementación proteica sobre la inflamación muscular después de correr cuesta abajo con un desnivel del diez por ciento durante treinta minutos al ochenta por ciento de su frecuencia cardiaca. Los participantes consumieron dos tabletas proteicas (325 mg encimas pancreáticas, 75 mg tripsina, 50 mg papain, 50 bromelain, 10 mg amilasa, 10 mg lipasa, 10 mg lisozyme, 2 mg chimotripsin) cuatro veces al día comenzando un día antes del ejercicio y durante cuatro días. Se obtuvo un efecto disminuido de la inflamación muscular después de correr.

Además de la inflamación muscular retardada, también se observó la función contráctil del músculo, obteniéndose una restauración más temprana después del ejercicio excéntrico.

Gasto energético

Jamurtas AZ y otros (2004) pretendieron averiguar cuáles eran los efectos sobre el gasto energético que tiene la ejecución de una única sesión de levantamiento de peso durante sesenta minutos al 70-75% de una repetición máxima comparado con correr sesenta minutos al 70-75% de su volumen de oxígeno máximo. El gasto energético fue significativamente elevado ($p < 0.05$) diez y veinticuatro horas después del final de ambas pruebas. Una única prueba tanto de levantamiento de peso como de resistencia con similares características incrementan el gasto energético y la oxidación de grasa durante las veinticuatro horas después del ejercicio, aunque la inflamación muscular retardada llegó a ser significativamente elevada ($p < 0.05$) veinticuatro horas después del ejercicio de levantamiento de pesas exclusivamente.

Volumen de Oxígeno Máximo o consumido

En el estudio de Jamurtas AZ y otros (2004), anteriormente nombrado, se encontraron disminuciones del VO₂ máx después de 10 y 24 horas de realizar ambas pruebas.

En el estudio de Braun WA y Dutto DJ (2003), se realizaron tres pruebas con intensidades de sesenta y cinco, setenta y cinco, y ochenta y cinco por ciento del VO₂ máx cuarenta y ocho horas después de correr cuesta abajo con una pendiente del menos diez por ciento al setenta por ciento del VO₂ máx. Los resultados introducidos en MANOVA revelaron un aumento del VO₂ consumido.

Lesión muscular

Diferentes investigaciones han estudiado el comportamiento del P₃₁ (fósforo inorgánico) que se mide mediante resonancia magnética nuclear, la acumulación de P₃₁ se asocia a un mayor daño muscular. Aldridge y otros (1986) no encontraron mayores cantidades de fósforo justo después de la realización del ejercicio excéntrico en el antebrazo, sin embargo, el mismo exámen realizado al día siguiente, cuando aparece el dolor muscular, sí evidencia un aumento relevante del fosfato inorgánico. Recientemente (Lund y otros, 1998) han encontrado resultados similares en un experimento realizado en el músculo cuádriceps.

Otro marcador de la lesión es el zinc. Nosaka y Clarkson (1992b), realizaron un estudio para determinar el incremento del nivel plasmático de zinc tras la realización de un ejercicio causante de daño muscular. El protocolo de ejercicios fue mixto, utilizando tanto ejercicio excéntricos como concéntricos no se observaron grandes variaciones en los marcadores habituales de daño (FIM, rango de flexión y extensión, dolor muscular, CK) tras las

contracciones excéntricas. Sin embargo los niveles de zinc no variaron tras la realización de cualquiera de los ejercicios, lo que sugiere que el ejercicio productor de "agujetas" no determina un incremento en los niveles del zinc plasmático.

Otro estudio también realizado por Nosaka K y otros (2002), pretendieron investigar la relación entre la inflamación muscular retardada y otros indicadores de lesión muscular tras realizar ejercicio excéntrico. Para ello obtuvieron tres grupos en el que cada uno de ellos realizaba doce acciones excéntricas máximas o veinticuatro o sesenta. El dolor muscular (SOR) fue evaluado por una escala visual analógica (a 50 mm; 0: sin dolor, 50: extremadamente doloroso) cuando fueron palpados (SOR-Pal), flexionados (SOR-Flx) y estirados (SOR-Ext). Normalmente hay poca relación entre la inflamación muscular retardada y otros indicadores, concluimos que el uso de la inflamación muscular retardada es un mal indicador de la inflamación y la lesión del músculo en el ejercicio excéntrico inducido, además, cambios en los marcadores indirectos de la inflamación y la lesión del músculo no están acompañados necesariamente con la inflamación muscular retardada.

El calor profundo

Como mecanismo preventivo de la inflamación muscular retardada como respuesta a la realización de un ejercicio excéntrico máximo, fue el objeto de estudio de Broca Symons T y otros (2004). La temperatura del músculo, por medio de ultrasonido aumentó uno con setenta y nueve grados. Después realizaron cincuenta contracciones máximas. El grupo experimental no difirió significativamente ($p < 0.05$) respecto al grupo control, con respecto a la inflamación muscular percibida, el aumento de la

circunferencia del brazo, ROM y la fuerza isométrica e isocinética. En conclusión, incrementar la temperatura del músculo suspende la proporción significativa de los efectos profilácticos sobre los síntomas de la inflamación muscular retardada.

Dolor y flacidez muscular

El dolor muscular es la variable más utilizada en los estudios realizados acerca del proceso de lesión muscular que provoca el trabajo excéntrico en la musculatura. Sin embargo, el dolor muscular correlaciona de manera débil con los cambios en las funciones musculares tanto en términos de magnitud como en el tiempo transcurrido desde la realización del ejercicio (Rodenburg y otros, 1994; Saxton y otros, 1995). Como ocurre con los niveles en sangre de proteínas miofibrilares, el dolor ocurre bastante después de la alteración funcional evaluada como pérdida de fuerza y de rango de movimiento articular.

Cleary MA y otros (2002), pretendían relacionar el modelo de ataque de los ejercicios excéntricos para percibir el dolor y la flacidez muscular, asociados con la inflamación muscular retardada. Para ello utilizó a sujetos no entrenados que realizaron dos pruebas excéntricas idénticas separadas por seis, siete, ocho o nueve semanas. Tanto el dolor como la flacidez fueron medidas inmediatamente antes y cero, veinticuatro, cuarenta y ocho y setenta y dos horas después de cada ejercicio excéntrico. El análisis obtuvo menor dolor percibido en el grupo de 9 semanas con respecto al de 8 semanas. El grupo de 7 semanas tenía significativamente menor y el grupo de ocho significativamente mayor flacidez muscular con respecto a los otros grupos. El dolor percibido y la flacidez fue significativamente menor después de realizar las pruebas la segunda vez.

Todos los sujetos tienen significativamente menor percepción de la inflamación muscular retardada y flacidez muscular antes del ejercicio que a las 0 y 24 horas después del ejercicio excéntrico cada una de las veces.

Efectos del estrógeno en mujeres posmenopáusicas

Dobridge JD y Hackney AC. (2004) examinaron si el uso del estrógeno protegía los efectos dañinos sobre el músculo esquelético en mujeres posmenopáusicas. Realizaron dos sesiones de ejercicios al 70% de su frecuencia cardíaca máxima, una con la terapia inductora de estrógeno y otra sin ella. La inflamación muscular retardada fue medida junto a la fuerza isométrica máxima antes, veinticuatro, cuarenta y ocho y setenta y dos horas después de ambas sesiones. La inflamación muscular retardada, fue significativamente elevada a las veinticuatro, cuarenta y ocho y setenta y dos horas después de cada una de la sesión del ejercicio, aunque el máximo índice de inflamación muscular retardada marcada se produjo en la prueba que se había suministrado el estrógeno.

Diferencias entre sexos

Dannecker EA y otros (2003) realizaron un estudio cuyo objetivo de investigación fue examinar las diferencias del dolor procedente de la inflamación muscular retardada entre sexos con una adecuada muestra, cuantificación de la intensidad de estímulos, y dos medidas de dolor. La inflamación muscular retardada fue inducida usando ejercicios de resistencia excéntrica en los flexores del codo del brazo no dominante. La intensidad de las contracciones excéntricas fue basada sobre la fuerza concéntrica. La respuesta al dolor fue medida 48 horas después. Las variables dependientes fueron:

umbral de presión, el cual fue calculado usando un dolorímetro, y la intensidad del dolor cuando el brazo era movido a través de un movimiento activo de rango máximo, el cual fue valorado por medio de una escala analógica visual. Las mujeres mostraron más bajas intensidades de dolor ($M=3.41$, $SD=2.13$) en comparación con los hombres ($M=5.12$, $SD=2.05$), pero no fueron encontradas diferencias significativas entre sexos en el umbral de presión, por lo que se dedujo que las diferencias entre sexos se producían por la metodología de inducción de la inflamación muscular retardada y las sensaciones medidas.

Efectos del Masaje

Dos estudios hacen referencia a los efectos del masaje sobre la inflamación muscular retardada, el primero es de Hilbert JE y otros (2003). El propósito de este estudio fue investigar los efectos fisiológicos y psicológicos del masaje sobre la inflamación muscular retardada. La inflamación muscular fue inducida con seis series de ocho contracciones excéntricas máximas del tendón derecho. Dos horas después, se les aplicó un masaje de veinte minutos. Fueron medidas otras variables como el pico de torsión determinado a las dos, seis, veinticuatro y cuarenta y ocho horas después del ejercicio, el rango de movimiento y la intensidad y desagrado del dolor, valorado a las seis, veinticuatro y cuarenta y ocho horas después del ejercicio, aunque no hubo diferencias significativas. La intensidad del dolor, sin embargo, fue significativamente más baja ($p < 0.05$) tras cuarenta y ocho horas de realizar el ejercicio.

El otro estudio realizado por Farr T y otros (2002), trató de investigar cuáles eran los efectos terapéuticos del masaje sobre la inflamación muscular retardada y la función muscular después

de caminar cuesta abajo. Los sujetos durante cuarenta minutos tuvieron que caminar con una carga del diez por ciento de su masa corporal. Dos horas después se les efectuó un masaje de treinta minutos en una pierna solamente. Se midió en dos ocasiones la inflamación muscular, la flacidez, la fuerza isométrica e isocinética y un solo salto de altura vertical, antes de caminar y una, veinticuatro, setenta y dos y ciento veinte horas después de caminar. Los sujetos mostraron incrementos significativos ($p < 0.004$) en la inflamación y flacidez para el miembro que no fue masajado 24 horas después de caminar con una significativa diferencia entre el otro miembro ($p < 0.001$). Una reducción significativa en la fuerza isométrica fue sufrida por ambos miembros comparado con las medidas una hora después de caminar. La fuerza isocinética de sesenta grados/seg y el salto de altura vertical fueron significativamente más bajos que el miembro masajado una y veinticuatro horas después de caminar. No hay diferencias significativas evidentes en las restantes variables valoradas.

CONCLUSIONES

Los sujetos que se han sometido a un ejercicio excéntrico que ha provocado la inflamación muscular retardada y después ingieren una dieta rica en carbohidratos, necesitan más de veinticuatro horas para recuperar el glucógeno perdido en dicha prueba. Además el glucógeno decrece de forma uniforme al comienzo de la recuperación. Esta pérdida que no fue medida en el estudio de Zehnder M y otros (2004) probablemente es como consecuencia de la reparación de las células del músculo dañado.

Correr 15 minutos cuesta abajo es suficiente para causar inflamación muscular retardada con los

cambios funcionales y morfológicos asociados; sin embargo, la ingesta inadecuada de carbohidratos después del decrecimiento del glucógeno no parece agravar la inflamación muscular retardada y los síntomas asociados.

Incrementar la temperatura del músculo suspende en proporción significativa los efectos profilácticos sobre los síntomas de la inflamación muscular retardada.

Una profilaxis efectiva para el dolor y la flacidez muscular asociados con la inflamación muscular retardada es desarrollar un ejercicio excéntrico 6 o 9 semanas antes de un ejercicio similar.

Durante el periodo de afectación de inflamación muscular retardada se producen cambios en el mecanismo de zancada y mayor dependencia de los métodos anaeróbicos de producción de energía, contribuyendo al cambio en el estilo de carrera económico.

Normalmente hay poca relación entre la inflamación muscular retardada y otros indicadores, además, el uso de la inflamación muscular retardada es un mal indicador de la inflamación y la lesión del músculo en el ejercicio excéntrico inducido. Por otro lado los cambios en los marcadores indirectos de la inflamación y la lesión del músculo no están acompañados necesariamente con la inflamación muscular retardada.

Las mujeres muestran una menor intensidad del dolor que los hombres. Pero no se exponen diferencias entre género en el umbral de presión. La detección de diferencias entre géneros en el dolor muscular depende de la metodología de inducción de la inflamación muscular retardada y las sensaciones medidas.

La administración de un masaje dos horas después del ejercicio que induce a lesión muscular no mejora

la función del tendón pero reduce la intensidad del dolor cuarenta y ocho horas después del ejercicio.

El masaje terapéutico puede disminuir el dolor y la flacidez muscular asociadas con la inflamación muscular retardada. Sin embargo puede no ser beneficioso en el tratamiento de la fuerza y la disminución funcional.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldridge, R; Cady, E. B.; Jones, D. A. y Obletter, G. Muscle pain alter exercise is linked with an inorganic phosphate increase as shown by ³¹P NMR. *Biosci Rep* 1986; (6), 663-667.
- Braun, W.A.; y Dutto, D.J. The effects of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48 h later. *Eur J Appl Physiol*. 2003; 90(1-2):29-34.
- Brock Symons, T. Clasey, J.L.; Gater, D.R.; y Yates, J.W. Effects of deep heat as a preventative mechanism on delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res*. 2004; 18(1):155-61.
- Cleary, M.A.; Kimura, I.F.; Sitler, M.R.; y Kendrick, Z.V. Temporal Pattern of the Repeated Bout Effect of Eccentric Exercise on Delayed-Onset Muscle Soreness. *J Athl Train*. 2002; 37(1):32-36.
- Dannecker, E.A.; Koltyn, K.F.; Riley, J.L. 3rd, Robinson, M.E. Sex differences in delayed onset muscle soreness. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003; 43(1):78-84.
- Dobridge, J. D. y Hackney, A. C. The effects of estrogen on indices of skeletal muscle tissue damage after eccentric exercise in postmenopausal women. *Fisiol. Cheloveka*. 2004; 30(4): 98-102.
- Farr, T.; Nottle, C.; Nosaka, K. y Sacco P. The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking. *J Sci Med Sport*. 2002 5(4):297-306.

- Hilbert, J. E.; Sforzo, G.A. y Swensen, T. The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *Br J Sports Med.* 2003; 37(1):72-5.
- Jamurtas, A.Z.; Koutedakis, Y.; Paschalis, V.; Tofas, T.; Yfanti, C.; Tsiokanos, A.; Koukoulis, G.; Kouretas, D.: y Loupos, D. The effects of a single bout of exercise on resting energy expenditure and respiratory exchange ratio. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 92(4-5):393-8.
- Lund, H.; Vestergaard-Poulsen, P.; Kanstrup, I.L. y Sejrsen, P. (1998). "Isokinetic eccentric exercise as a model to induce and reproduce pathophysiological alterations related to delayed onset muscle soreness", *Scand J Med Sci Sport* (8), 208-215.
- Miller, P.C.; Bailey, S.P.; Barnes, M.E.; Derr, S.J.; y Hall, E.E. The effects of protease supplementation on skeletal muscle function and DOMS following downhill running. *J Sports Sci.* 2004; 22(4):365-72.
- Morgan, D.L.; Proske, U. Popping sarcomere hypothesis explains stretch-induced muscle damage. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2004; 31(8):541-5.
- Nelson, M.R.; Conlee, R.K.; y Parcell, A.C. Inadequate carbohydrate intake following prolonged exercise does not increase muscle soreness after 15 minutes of downhill running. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004; 14(2):171-84.
- Nosaka, K y Clarkson, P. M. Changes in plasma zinc following high force eccentric exercise, *Int J Sport Nutr* 1992b; (2), 175-184.
- Nosaka, K.; Newton, M.; y Sacco, P. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scand J Med Sci Sports.* 2002; 12(6):337-46.
- Rodenburg, J. B.; Deboer, R. W. y Schiereck, P. Changes in phosphorus compounds and water content in skeletal muscle due to eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1994. (68), 205-213.
- Saxton, J. L.; Clarkson, P. M. y James, R. Neuromuscular dysfunction following eccentric exercise. *Med Sci Sport Exerc.* 1995; (27), 1185-1193.
- Variables de interés en el estudio de los efectos del ejercicio excéntrico sobre el rendimiento deportivo. Carreño Clemente, J.A.; y López Calbet, J. A. *Apunts*, 72, 62-69.