

La fatiga muscular en los deportistas: métodos físicos, nutricionales y farmacológicos para combatirla

Aritz Urdampilleta^{1,2}, Ivan Armentia³, Saioa Gómez-Zorita⁴, José M. Martínez-Sanz^{5,6}, Juan Mielgo-Ayuso⁷

¹Universidad de Deusto. Facultad de Donostia-San Sebastián. ²Unidad de Investigación y Asesoramiento Técnico en Nutrición Deportiva y Entrenamientos en Hipoxia para Deportistas. Erika Sport. Nutrition, Innovation & Sport. ³Unidad de Fisioterapia y Biomecánica. Centro Deportivo K2. Vitoria-Gasteiz. ⁴Departamento de Farmacia y Ciencias de los Alimentos. Facultad de Farmacia. Universidad del País Vasco (UPV-EHU). ⁵Departamento de Enfermería. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Alicante. ⁶Gabinete de Alimentación y Nutrición (Alinua). Universidad de Alicante. ⁷Unidad de Nutrición Deportiva. Centro Riojano de Nutrición. Haro (La Rioja).

Recibido: 14.07.2014

Aceptado: 02.09.2014

Resumen

Antecedentes: Una rápida recuperación en los deportistas es un aspecto fundamental para continuar entrenando a intensidades elevadas y seguir progresando más, especialmente en deportes en los que se compite todos los días. Los ejercicios excéntricos producen rupturas de miofibrillas musculares, sobre todo si se llevan a cabo de forma intensa y no habitual provocando daño muscular. Este daño muscular produce una fatiga muscular que limita el rendimiento muscular, disminuyendo la fuerza, el pico de potencia, o la velocidad. Por ello, es importante conocer de qué medios de recuperación muscular disponen los deportistas.

Objetivo: Conocer las causas y consecuencias de la fatiga muscular y hacer una revisión sobre las ayudas ergogénicas: físicas, nutricionales y farmacológicas que existen para una rápida y mejor recuperación muscular y orgánica y poder conocer las más eficaces de una manera integral en la práctica deportiva.

Métodos: Revisión bibliográfica en distintas bases de datos tanto en lengua castellana como inglesa, siguiendo 4 estrategias específicas, tratando de ofrecer un estado de conocimiento actual sobre las diferentes estrategias de recuperación post-ejercicio.

Resultados: Ciertos deportes, como los de equipo o los que tienen un gran componente excéntrico que conllevan una mayor destrucción muscular, requieren una intervención especial para recuperar los microtraumatismos que se producen durante su práctica (entrenamientos y competición). Hay diferentes formas de mejorar la recuperación, como métodos físicos (masaje deportivo, electroestimulación, contrastes de agua), estrategias nutricionales (hidratación e ingesta de hidratos de carbonos y proteínas), ergonutricionales (aminoácidos ramificados, glutamina, β -hidroximetil butirato, creatina) y farmacológicas (antiinflamatorios, analgésicos, inmunomoduladores farmacológicos). Estas estrategias pueden ser básicas para conseguir una recuperación integral del deportista.

Key words:

Recuperación deportiva.
Métodos físicos. Masaje.
Ergonutrición. Fármacos.

Muscle fatigue in athletes: physical, nutritional and pharmacological methods for improving recovery

Summary

Background: It is fundamental in athletes a rapid recovery, it is a really important aspect to continue training at high intensities and also to continue progressing, especially in sports when you compete every day. Eccentric exercises produce muscular myofibril ruptures, especially at high intensities, causing muscle damage. This damage produces muscular fatigue that limits its performance, decreasing the force, the peak power or/and the speed. For that reason, it is important to know the methods to recover from muscle fatigue.

Aims: To know the causes and consequences of muscular fatigue and to review the ergogenic aids: physical, nutritional and pharmacological methods for a faster and better recovery. Likewise, to know the most effective recovery methods in sports, in a comprehensive way.

Methods: Literature review on different databases both Spanish and English, following 4 specific strategies, trying to offer a current knowledge about different strategies of post-exercise recovery.

Results: Some sports, like team sport or those who have a great eccentric component that involve greater muscle destruction; require special intervention to retrieve traumatismos that occur during sport practice (training and competition). There are different ways to improve it such as physical methods (sports massage, electrical stimulation, water contrasts), nutritional strategies (hydration and carbohydrate and protein intake), ergonutritional (branched chain amino acids, glutamine, β -hidroximetil butyrate, creatine) and pharmacological (analgesic, anti-inflammatory, immunomodulatory drug). These strategies can be basic to achieve a full recovery of the athlete.

Palabras clave:

Sports recovery.
Physical methods.
Massage. Nutritional strategies.
Ergogenic aids. Pharmacology.

Correspondencia: Aritz Urdampilleta
E-mail: aritz.urdampilleta@deusto.es

Introducción

Lograr una rápida recuperación muscular es uno de los objetivos prioritarios de los deportistas, especialmente cuando la intensidad del ejercicio es elevada o traumática¹. Los ejercicios excéntricos, tales como carrera a pie, especialmente en bajadas; producen mayores rupturas de miofibrillas musculares que otros deportes como la natación o el ciclismo², sobre todo si se llevan a cabo de forma intensa y no habitual provocando daño muscular³. Este daño muscular produce una fatiga muscular que limita el rendimiento muscular, disminuyendo la fuerza, el pico de potencia, o la velocidad. Así la fatiga muscular es dependiente de la intensidad del esfuerzo y sobre todo con el tipo de ejercicio físico realizado, según el tipo de contracción muscular; concéntrica, excéntrica o isométrica. Además las caídas y golpes propios del deporte practicado también, se asocian con un aumento de fatiga muscular^{2,3}.

Diferentes métodos de recuperación post-ejercicio se emplean en el ámbito deportivo, como los medios físicos, además de los fisiológicos, nutricionales o farmacológicos, si bien, muchos de ellos carecen de un consenso por parte de la comunidad científica.

Entre los medios de recuperación de la fatiga muscular se encuentran las ayudas mecánicas o físicas, como la electroestimulación, masajes, baños fríos, cuyo objetivo principal es favorecer la llegada de más volumen de sangre a los músculos fatigados y así ayudar en su recuperación. Otro método físico consiste en elevar las piernas o el empleo de medias de compresión, para facilitar el retorno venoso⁴. Por otra parte, existen ayudas farmacológicas, como los inmunomoduladores y antiinflamatorios⁵.

El efecto de la nutrición sobre el daño muscular y la fatiga ha sido ampliamente discutido en un gran número de investigaciones^{3,6} mostrando que durante la recuperación post-ejercicio una ingesta nutricional adecuada es importante para reponer las reservas endógenas de energía, el reacondicionamiento del músculo esquelético, la reparación del daño muscular y por tanto evitar la fatiga⁷.

Debido a la importancia de conocer qué medios de recuperación muscular y orgánica se disponen, se plantea esta revisión, cuyo objetivo es conocer las causas y consecuencias de la fatiga muscular y ayudas ergogénicas: físicas, nutricionales y farmacológicas que existen para una recuperación más rápida del deportista en competición.

Método

Se ha realizado una revisión bibliográfica en las bases de datos PUB-MED (MedLine), Scielo y SportDiscus, además del motor de búsqueda google académico, tratando de ofrecer un estado de conocimiento actual sobre las diferentes estrategias de recuperación post-ejercicio de la fatiga muscular. Las estrategias de búsqueda y palabras clave establecidas fueron la combinación mediante el término OR de sport AND recovery con physical methods, massage, nutritional strategies, dietary supplement, drugs, siguiendo 4 estrategias específicas de búsqueda:

- “Sport” AND “recovery” AND “physical methods” OR massage OR “compression stockings”.
- “Sport” AND “recovery” AND “physiological methods” OR “intermittent hypoxia” OR “hyperbaria”.

- “Sport” AND “recovery” AND “nutrition” OR “nutritional strategies” OR “dietary supplements”.
- “Sport” AND “recovery” AND “pharmacological” OR “nutritional aids”.

Cada estrategia de búsqueda se realizó por pares. Los años de búsqueda se acotaron entre 2009-2013. La revisión se centró en los estudios realizados con humanos como criterio de inclusión. A partir de estos artículos se amplió la información a través de la estrategia de bola de nieve para contextualizar el artículo.

Resultados y discusión

Posibles causas y consecuencias de la fatiga muscular

En general, las principales causas de la fatiga muscular son⁸:

- *Mala organización del plan de entrenamiento*: sobreentrenamiento, falta de sueño o planificación inadecuada de los tiempos de recuperación.
- *Insuficiente recuperación o malas estrategias de recuperación de los depósitos energéticos*. La depleción del glucógeno se asocia con la fatiga, la menor liberación de calcio, inhibición de la contractibilidad y la mayor destrucción muscular.
- *Rápido aumento de las exigencias de entrenamiento*. Tras un periodo de descanso, los deportistas antes de empezar a entrenar deben obtener la forma física adecuada mediante un período de adaptación.
- *Cargas de alta intensidad empleadas en exceso*. El organismo necesita adaptarse, y se observa un aumento en el cortisol sanguíneo.
- *Participar en pocas competiciones*. Las tendencias actuales, son competir menos, lo que lleva a entrenar más intensamente y a no descansar adecuadamente, debido a que cuando se prepara una competición, los días anteriores se reduce la carga de entrenamiento.

Otras causas de la fatiga muscular pueden ser debido a frecuentes alteraciones de los hábitos de vida. La realización de viajes a un país con una zona horaria diferente a donde el deportista vive habitualmente, que puede ocasionar “jet lag” también conocido como descompensación horaria. Este fenómeno puede tener efectos perjudiciales sobre el rendimiento de los atletas, debido al trastorno o desincronización del ritmo circadiano, que a su vez influye sobre el rendimiento deportivo⁹.

Además, los músculos con gran proporción de fibras tipo I son más resistentes a la fatiga que los que contienen más fibras tipo IIa y IIb debido al distinto acúmulo de metabolitos. Las fibras tipo IIa se asocian con el metabolismo láctico, y esta vía energética genera gran acidificación muscular, limitando los procesos enzimáticos para obtener energía².

En este sentido el origen de la fatiga muscular aguda es multifactorial¹⁰, debido a:

- *Alteraciones del pH muscular*: la glucogenólisis y la posterior glucólisis anaeróbica incrementan el acúmulo de iones hidrógeno, lo que disminuye el pH muscular. Esto afecta a la bomba sodio-potasio, encargada de intercambios de iones entre el medio extracelular y citoplasma para mantener una homeostasis celular adecuada.
- *Temperatura*: el músculo aumenta su temperatura para funcionar al mayor potencial, pero, si aumenta mucho, el funcionamiento empeora. Asimismo, si la temperatura central se incrementa por encima de 39 °C, ésta afectará a nivel enzimático, además de que

se observaran las primeras consecuencias relacionadas a la deshidratación y al aumento de la temperatura corporal.

- *Flujo sanguíneo*: en una situación de deshidratación, la cantidad de agua extracelular y de sangre total disminuyen, en consecuencia hay una menor oxigenación, reduciendo la disponibilidad de nutrientes por parte del músculo.
- *Alteración de la homeostasis de iones de calcio o fósforo inorgánico*: El incremento de fósforo inorgánico en las miofibrillas proviene de la hidrólisis de la fosfocreatina y dificulta la contracción muscular al reducir la sensibilidad al calcio. Es característico de actividades de gran componente anaeróbico.
- *Acúmulo de productos del metabolismo*: destacan las alteraciones en la concentración muscular de lactato, hidrogeno, potasio y calcio.
- *Estrés oxidativo*: destaca la acumulación de las especies reactivas de oxígeno (ROS), generadas al realizar actividad física aeróbica durante mucho tiempo, en hipoxia o altitud... La acumulación de ROS altera la homeostasis del calcio y es capaz de generar daños en las proteínas, el DNA, el RNA y los lípidos celulares.

Aunque sigue siendo objeto de debate sobre su fiabilidad y relevancia, otros posibles marcadores de fatiga muscular son el peróxido de hidrógeno, vitamina E, albúmina, ácido ascórbico, proteína C reactiva y otros marcadores inflamatorios como el factor de necrosis tumoral- α o las interleucinas (IL)¹¹.

Los mejores marcadores para el seguimiento de la fatiga muscular intensa son: IL6, lactato, sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, oxipurinas y fosfato inorgánico. Sin embargo, los marcadores que reflejan mejor la fatiga de baja intensidad son los parámetros sanguíneos: lactato, leucocitos y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico¹¹.

La recuperación de la fatiga muscular y la reanudación de la función normal se controlan mediante: recuento de leucocitos e IL6 en sangre¹¹. Además se pueden obtener resultados mediante analíticas sanguíneas, sobre los niveles de creatinquinasa (CK), lactato deshidrogenasa (LHD) o transaminasas transaminasas (especialmente la aspartato aminotransferasa (AST) y alanino aminotransferasa (ALT)) que también están alterados durante la destrucción muscular elevada¹².

Intervención mecánica, nutricional y farmacológica para la recuperación muscular

Entre las ayudas ergogénicas, los medios físicos ocupan un espacio importante en la práctica habitual, para afrontar la recuperación de la fatiga del deportista^{13,14}. Pueden estar destinados a la recuperación general, o enfocados a la recuperación de una zona concreta¹⁵. El masaje deportivo, los estiramientos, los baños con agua fría, el frío seco, la compresión entre otros, son parte de las medidas físicas de recuperación general más populares en el deporte. La punción seca, diatermia por radiofrecuencia son terapias físicas destinadas a la recuperación de un punto muscular más concreto, y aportar recuperación general. A pesar de su popularidad, hay gran controversia en el ámbito científico para mostrar su efectividad creando un conflicto entre la evidencia clínica y la evidencia científica, y siendo necesaria mucha más investigación para esclarecer la acción fisiológica de estas técnicas. Los resultados difusos se deben por una parte a que la aplicación de ciertas terapias físicas, como puede ser el masaje, tienen una gran variabilidad inter-

aplicador, lo que dificulta la cuantificación de sus efectos. Por otra parte, la variabilidad de los parámetros a controlar, y la falta de consenso en su elección en el campo científico, enlentece este trabajo. En el presente artículo se profundizará más en el masaje y sus evidencias, debido a que es una de las técnicas físicas más empleadas, y más polémicas en el campo de terapias físicas.

Masaje terapéutico y deportivo

El masaje es, probablemente, la técnica por excelencia en el ámbito de las terapias físicas, y la base histórica para la evolución que ha vivido el campo de la fisioterapia. Los motivos principales del deportista para recurrir al masaje son combatir el dolor, la fatiga, la rigidez y los calambres musculares, todos ellos de origen multifactorial¹³. A pesar de ello, está en el centro de la polémica por la dificultad para evaluar científicamente su efectividad. Aun así, tanto los clínicos que utilizan esta herramienta en la práctica diaria de recuperación del deportista, como los propios deportistas saben del beneficio del masaje, por lo que no se cesa en la búsqueda de evidencia que avale estos resultados. Por ello, aunque haya diversos estudios que concluyen que el masaje no es tan efectivo para la recuperación¹, se quiere ir más allá, intentando encontrar diferentes resultados favorables a la terapia con masaje como:

- *Modulación de la inflamación*: Crane et al,¹⁵ evidenciaron recientemente la acción antiinflamatoria del masaje, lo mismo que su efecto sobre la promoción de la biogénesis mitocondrial en el músculo cuádriceps dañado (roturas miofibrilares) por la práctica deportiva. Mediante el uso de biopsias musculares ejecutadas después de la práctica deportiva de base, 10 minutos después de administrar el masaje y tras un periodo de dos hora y media de recuperación, se mostró que el masaje activa la señal de mecanotransducción vía quinasa de adhesión focal (FAK) y quinasas activadas por señales extracelulares 1 y 2 (ERK1/2)¹⁶. Esto potencia la señalización de la biogénesis mitocondrial (coactivador del receptor activado de proliferación del peroxisoma 1 α (PGC-1 α)). El masaje mitiga el aumento del factor nuclear kB (NFkB), cuya acumulación dentro del núcleo es causada por el trauma inducido por el ejercicio muscular. No se encontró ningún efecto del masaje sobre los metabolitos musculares (glucógeno, lactato), pero sí sobre la producción de citoquinas inflamatorias, porque redujo la producción del factor de necrosis tumoral - α (TNF- α) y la interleucina-6 (IL-6), a la vez que redujo la fosforilación de la proteína de choque térmico 27 (HSP27), disminuyendo el estrés celular resultante de la lesión en las miofibrillas musculares¹⁶.
- Otro estudio realizado reveló que el masaje de compresión justo después del ejercicio excéntrico durante 15 minutos, es más efectivo en la recuperación de la función muscular y en modular la infiltración celular inflamatoria que cuando se aplica 48 h después de haber finalizado el ejercicio¹⁶.
- *Efectos neurofisiológicos y de movilidad muscular*: En otro estudio se comparó el efecto de una intervención consistente en un masaje en el cuello y los brazos durante 20 minutos, frente a otra terapia de igual duración y un grupo control, sin intervención. Los resultados revelaron que en el grupo que recibió el masaje descendió significativamente la excitabilidad de la motoneurona- α , disminuyó la

amplitud de la señal en electromiografía (EMG) y aumentó el rango de movilidad (ROM) en todas las direcciones: flexión, extensión, rotación y lateroflexión¹⁷.

Diferentes estudios de Morelli¹⁸, durante toda la década de los 90 sobre el reflejo H, mostraron una significativa acción sobre la reducción del reflejo H. Demostraron que el efecto conseguido sobre dicho reflejo no se debe a los receptores de la piel, sino a receptores profundos. En consecuencia, el masaje profundo tiene mayor acción que el masaje superficial sobre el reflejo H.

En deportistas con dolor de espalda, 10 sesiones de masaje aplicadas 2 veces/semana fueron efectivas para reducir el dolor, la ansiedad y la depresión, aumentar la calidad del sueño, así como mejorar los niveles de dopamina y serotonina, y el rango de movilidad de la columna¹⁹.

– *Efectos inmunes y psicológicos del masaje*: la terapia de masaje promueve la relajación psicológica, reduce el estrés y, al parecer, mejorar la función inmune²⁰. Aunque la condición psicosocial suele ser evaluada mediante diferentes test, estos son cuestionados por la posibilidad de fallo dependiendo de la colaboración del sujeto. En la investigación de Noto *et al* en relación al masaje de espalda, se evidencia una elevación en la chromogranina A, contribuyente del sistema inmune como antibacteriano y antifúngico²⁰.

En pacientes oncológicos en tratamiento de radioterapia se ha observado un efecto a corto plazo en la reducción en el deterioro de la células "Natural Killer o asesina natural (NK)" tras un masaje corporal tipo "effleurage" a baja presión (tocar o rozar suavemente)¹⁴. Por otra parte, en pacientes con úlceras gástricas y fracaso medicamentoso, el masaje reflejo profundo y ejercicios de extensión muscular consiguieron efectos similares a la medicación, mejorando el estado del sistema inmune, por lo que se plantean alternativas más saludables para los deportistas con estos problemas²¹.

– *Efectos en la recuperación del dolor muscular de aparición tardía (DOMS)*: diferentes autores mencionan efectos sobre la ayuda que el masaje aporta al DOMS (rotura de miofibrillas). Zainuddin *et al*²² observaron mejorías del 30% en el DOMS, reduciendo el edema y los valores de creatinquinasa (CK) cuatro días post ejercicio. Best, *et al*¹³ concluyen en su revisión sobre masaje deportivo que los ensayos clínicos controlados apuntan en la misma línea de ayuda a la recuperación del DOMS.

– *Efectos en la fisiología del sistema nervioso autónomo, cardiovascular y variabilidad del ritmo cardiaco*: el masaje de puntos gatillo miofasciales (PGM) en la región de la cabeza, cuello y hombro muestra efectos favorables significativos en el ritmo cardiaco, la presión sistólica y diastólica y en la variabilidad del ritmo cardiaco hacia el tono parasimpático²³. Otros estudios indican que el masaje sueco (sistema de ejercicios físicos con el objetivo de corregir y fortalecer las deficiencias corporales conocido como "sistema Ling del movimiento", que combinaba ejercicio, masaje y sauna) aplicado durante 15' tres veces/semana, hasta completar diez sesiones reduce significativamente la presión sanguínea, siendo una herramienta de trabajo para este problema²⁴. Por otra parte, en mujeres adultas no deportistas cuyo trabajo diario era realizado de pie, el masaje de puntos gatillo miofasciales en los músculos de las extremidades inferiores, aumentó el volumen pulmonar

instantáneo, redujo la frecuencia cardiaca y la presión arterial, lo mismo que la percepción de la fatiga con una escala subjetiva; los hallazgos parecen estar mediados por el incremento de la actividad nerviosa parasimpática²⁵.

Evidencias de otras terapias

– *Inmersiones en agua*: Versey *et al*²⁶ hicieron una revisión bibliográfica sobre el efecto de la inmersión en agua para minimizar la fatiga y acelerar la recuperación después del ejercicio, en la que clasificaron dicha técnica en cuatro categorías, según la temperatura del agua: fría (≤ 20 °C), caliente (≥ 36 °C), alternando agua fría y caliente y con agua termoneutra (> 20 y < 36 °C). Los autores encontraron numerosos artículos que mostraron que la inmersión en agua fría (10 a 15 °C) durante 5-15 min de duración es eficaz en la aceleración de la recuperación, lo mismo que la inmersión alterna en agua fría y caliente, menos de 1 minuto en cada temperatura, para un total de 15 minutos. Dichos autores concluyeron que tanto la inmersión en agua fría como la terapia alternando agua fría y caliente, son más adecuadas para coadyuvar en la recuperación post-ejercicio, que la inmersión en agua caliente o termoneutra. En jugadores de tenis profesionales se realizó una intervención después de diferentes sesiones de entrenamiento consistente en inmersión en agua fría durante 15 minutos, el uso de prendas de compresión en todo el cuerpo durante tres horas y recomendaciones para regular los patrones de sueño nocturno. Al comparar los resultados con relación al grupo control no intervenido, los efectos de la intervención fueron evidentes. La inmersión en agua fría y el uso de prendas de compresión aumentaron la resistencia del tiempo de juego y la potencia del miembro inferior, al tiempo que redujeron el dolor percibido. Además, la regulación de los patrones de sueño mejoró la calidad del sueño y disminuyó la percepción de dolor al día siguiente²⁷.

– *Medias de compresión*: Pruscino *et al* realizaron un estudio en atletas entrenados en el que fueron examinados los efectos del uso de prendas de compresión versus pantalones sueltos, durante 24 horas post-ejercicio, sobre la recuperación bioquímica, física y percepción del dolor hasta 48 horas después realizado el ejercicio. Ninguno de los marcadores sanguíneos o físicos de recuperación indicaron beneficio alguno de usar prendas de compresión después del ejercicio. Sin embargo, la reducción del dolor muscular y la mayor percepción de los indicadores de recuperación sugieren que puede existir un beneficio psicológico con el uso de tales prendas de compresión²⁸. Por otra parte, en investigaciones similares, a parte de la mejoría subjetiva, se observó una mejoría de leve a moderada en la fuerza máxima y la potencia, especialmente en el salto vertical, una reducción del dolor muscular y el edema, una mejor depuración del lactato y un aumento de la temperatura corporal^{10,29}. En cuanto a prendas de compresión durante la práctica deportiva, Ali, *et al*³⁰ concluyeron que en una carrera a pie de diez kilómetros realizada por corredores varones con prendas de compresión gradual, presión decreciente desde el tobillo (24 mmHg) hasta la pantorrilla donde la presión se vuelve constante, (cep® Running O_{2max}) fueron eficaces para mejorar el rendimiento durante el ejercicio de carrera submáximo y máximo. Las prendas de compresión media y

baja consiguen un mayor mantenimiento de la fuerza de la pierna después del ejercicio en comparación con aquellos deportistas que no las utilizaron. Además cabe añadir que los atletas prefieren las de compresión baja por ser de mayor confort. No obstante, tal como se observa en una revisión bibliográfica de MacRae, *et al*³¹, no hay evidencia clara que la utilización de estas puedan mejorar el rendimiento deportivo durante la competición ni recuperación posterior. Según esta revisión el propósito de las prendas de compresión es disminuir las molestias post-competición. Los beneficios potenciales pueden ser mediados a través de efectos físicos, fisiológicos o psicológicos, aunque los mecanismos subyacentes no están bien aclarados. La literatura está fragmentada debido a la gran heterogeneidad entre los estudios, con una variabilidad en el tipo, la duración y la intensidad del ejercicio, las medidas utilizadas como indicadores de ejercicio, nivel de entrenamiento de los participantes, la zona del cuerpo cubierto y las presiones aplicadas. Durante la recuperación, las medias de compresión han tenido efectos mixtos sobre la cinética de recuperación o el rendimiento posterior. Diversas mediciones realizadas en la fuerza-potencia muscular han observado que pueden ayudar en la recuperación y agilidad muscular post-ejercicio; no obstante, la interpretación de estos resultados no es contundente. Sí que existen evidencias en relación al aumento del flujo sanguíneo local o una mejor valoración en la percepción del dolor muscular después del ejercicio, pero en general, los efectos de las medias de compresión no son concluyentes³¹.

Ayuda fisiológica: estímulos de hipoxia intermitente

Los estímulos de entrenamiento recuperativos pueden ayudar a la recuperación de periodos de entrenamiento de gran carga. En esta línea de trabajo, algunos indicios sugieren que entrenar en hipoxia intermitente mejora la capacidad de recuperación de la frecuencia cardíaca³². Así, en el caso del fútbol y deportes intermitentes parece que puede resultar eficaz su empleo³³. A su vez, como tratamiento de readaptación después de lesiones musculares se ha visto que un plan de entrenamiento isométrico mediante plataformas vibratorias y estímulos de hipoxia intermitente puede mejorar la recuperación de los futbolistas³⁴.

Ayuda nutricional

Desde el punto de vista dietético-nutricional, no cabe duda de que la recuperación del glucógeno muscular y la rehidratación son primordiales para una recuperación integral del deportista. Recientemente, algunos autores concluyeron que los tiempos son cruciales para la recuperación, y por tanto, las estrategias dietético-nutricionales se deben realizar inmediatamente después de la actividad física-deportiva, hasta 30 minutos post-esfuerzo^{35,36}. En esta dirección, un retraso en 2 horas de la ingesta post-ejercicio puede reducir un 50% la resíntesis del glucógeno muscular³⁵.

Por otra parte, en el caso de realizar dos entrenamientos en el mismo día o pruebas en días consecutivos, se debe adecuar la ingesta de hidratos de carbono (HC) hasta 9-11 g/kg/día^{37,38}, para recuperar adecuadamente los depósitos de glucógeno hepático y muscular.

Dentro de la recuperación nutricional, la rehidratación y la recuperación de los hidratos de carbono prevalecen frente a la toma de ningún otro suplemento, siendo adecuado tener en cuenta el protocolo de hidratación y carga de glucógeno⁷.

- *Protocolo de rehidratación*: No vale en decir como norma general cuanta cantidad de agua se debería de tomar, puesto que sus pérdidas son diferentes según diferentes circunstancias como el clima, intensidad del ejercicio, tipo de ejercicio y cantidad de músculo involucrado... Así, es primordial estimar cuántos litros de agua se han perdido durante la actividad deportiva, mediante la valoración de la reducción de peso, con el fin de recuperar el 150-200% del mismo durante las seis horas siguientes³⁹. Para la recuperación, se recomienda ingerir bebidas ligeramente hipertónicas, con una concentración/litro del 9-12% azúcares de rápida absorción como la glucosa, sacarosa o maltodextrina o combinación de un azúcar rápido con lento (fructosa) en una combinación de 2/1, además añadiendo 1-1,2 g de sodio. Se debería beber cada 20-30' aproximadamente 300 mL, e intentar ingerir 1 litro/ por hora como máximo³⁹. No es conveniente beber más que 1 litro a la hora para que la absorción pueda realizarse adecuadamente y la bebida no quede en el estómago, interfiriendo negativamente con los alimentos. Por otra parte, es conveniente que la rehidratación vaya unida a la ingesta de HC, ya que para almacenar 1 g glucógeno, se necesitan 2,7 g de agua³⁷.
- *Protocolo de toma de hidratos de carbono*: Para la rápida recuperación del glucógeno muscular, el deportista necesita ingerir 1-1,5 g de HC/kg peso corporal. Esta cantidad debe tomarse en los primeros 0-120' post ejercicio, ya que hay una mayor translocación de los transportadores de glucosa^{38,40}. Para ello puede tomar un batido recuperador. Los batidos recuperadores tienen una combinación de HC y una ligera cantidad de proteínas de rápida absorción, puesto que se ha visto que esta combinación es ideal para recuperar los depósitos de glucógeno muscular, además de aportar nutrientes extra para la recuperación muscular. Para ello se realizar una combinación de HC de absorción rápida unido a proteínas hidrolizadas de suero. Lo ideal es utilizar una combinación de HC-P en una proporción HC/P de 3-4/1, siendo la cantidad de HC recomendada la de 1 g HC/kg peso, es decir, si el deportista pesa 70 kg, debe ingerir unos 70 g de HC y unos 25 g de proteína^{41,42}.
- *Aminoácidos ramificados (Leucina, isoleucina y valina) (aaR)*: Pese a que no se ha consensuado su beneficio al consumirlos durante la competición, resultan de utilidad en la recuperación muscular post-esfuerzo, ya que disminuyen la percepción del dolor muscular post-esfuerzo y disminuyen los parámetros bioquímicos de destrucción muscular, siendo interesante añadir al batido recuperador dosis de 50-200 mg/kg de aaR (50% leucina, 25% isoleucina y 25% valina)⁴³. A su vez se ha visto que el aminoácido leucina es el que tiene un mayor efecto anabólico, y es por ello, que la combinación entre los aminoácidos ramificados recomendada es de 2-3/1/1, entre la leucina/ isoleucina y valina⁴³. Por otra parte, recientes investigaciones abren nuevas perspectivas sobre la recuperación muscular con otras ayudas ergonutricionales, aunque todavía se necesitan más investigaciones para que su eficacia esté consensuada. Entre ellas se encuentran:

- *Glutamina*: Este aminoácido puede participar en la mejora de los parámetros inmunológicos, disminuyendo el riesgo de infecciones, además de mejorar la síntesis proteica y modificar la respuesta inflamatoria del organismo. Una dosis de 0,05-0,2 g/kg/día podría beneficiar al deportista aunque aún se necesitan más evidencias⁴⁴.
- *Hidroxi metilbutirato (HMB)*: Puede mejorar la recuperación, al disminuir el daño muscular producido durante el ejercicio, debido a su acción inhibitoria sobre la proteólisis y por favorecer la síntesis de proteínas. Se debe tomar antes del entrenamiento, dos semanas antes de un evento/competición. Se recomienda tomar 1-2 g antes de la actividad, pero el protocolo de toma es diferente según la formulación del HMB: HMB-Ca (60-120 min antes) y HMB-FA (30-60 min antes)⁴⁵.
- *Creatina*: La ingesta de 0,5-1 g/d de creatina, puede beneficiar la salud de los deportistas por su efecto antioxidante⁴⁶, además de mejorar determinados marcadores de daño muscular. En el entrenamiento de resistencia, 0,1 g, unido a HC (1,5g/kg) y proteínas (proporción 3-4/, HC/P)^{35,42}. Las últimas investigaciones se están decantando sobre el papel antioxidante de la creatina y el poder de hidratante intracelular, pudiendo utilizar como un rehidratante junto a los batidos recuperativos. También hay indicios que de la B-alanina o los precursores del óxido nítrico como la L-arginina o el nitrato puedan resultar eficaces, aunque se necesitan más estudios aún y estos también entrarían en las ayudas ergonutricionales de recuperación con eficacia relativa o no consensuada aún.

Ayuda farmacológica

- *Inmunomoduladores*: Están indicados para disminuir los efectos perjudiciales del daño muscular y la inflamación producidos por el ejercicio, acompañado de un estado de fatiga. Destaca el glicofosfopeptid (AM3) que acelera la recuperación, ya que modula los procesos homeostáticos de adaptación que conducen a la recuperación y remodelación muscular. Con su uso, se puede aumentar la carga de entrenamiento. Además de ser beneficioso para el rendimiento competitivo, también es para preservar la salud del deportista. El daño muscular como resultado de contracciones excéntricas atrae leucocitos al lugar de la lesión. Los neutrófilos y macrófagos contribuyen a la degradación del músculo dañado por la liberación de ROS y nitrógeno, y también pueden producir citocinas proinflamatorias. El AM3, disminuye las citoquinas proinflamatorias (antiinflamatorio) y estimula el sistema inmune (inmunomodulador). La dosis habitual en adultos es de 3 g/d durante unos 30 días⁴⁷.
- *Antioxidantes*: Los antioxidantes naturales evitan parte del estrés oxidativo, por ello, algunos autores sugieren que su administración a los deportistas podría ser benéfica. No obstante, otros autores indican que existe una creciente evidencia derivada de estudios tanto en animales como en humanos, sobre los efectos negativos para el rendimiento del ejercicio, de la administración de los suplementos de antioxidantes a los deportistas. Las investigaciones sugieren que no hay que tomar antioxidantes cuando el deportista está en pleno periodo de competición sino antes o en periodos transitorios, ya que durante la competición,

se inhiben los propios mecanismos de supercompensación que genera el propio organismo antes el estrés oxidativo⁴⁸. Dentro de los antioxidantes sintéticos la N-acetilcisteína es ampliamente empleada como mucolítico. Numerosos estudios muestran que su utilización previa al ejercicio (150 mg/kg peso corporal/día) disminuye la fatiga muscular y acelera la recuperación, sin embargo no todos llegan a tal efecto⁴⁹. Así mismo la N-acetilcisteína posee efectos vasodilatadores, potenciando los efectos del óxido nítrico (ON)-vasodilatador endógeno e incrementando el flujo sanguíneo.

- *Antiinflamatorios no esteroideos (AINEs)*: Son fármacos ampliamente utilizados para el tratamiento del dolor y generalmente tienen efecto analgésico, atipirético y antiinflamatorio. Destacan el ácido acetilsalicílico y el ibuprofeno por su amplia utilización entre los deportistas. En principio podría parecer que su uso está justificado dado que durante la fatiga muscular se ven incrementados los marcadores inflamatorios. No obstante, si bien es cierto que disminuyen la inflamación y disminuyen el dolor, esto puede llevar a un enmascaramiento de determinados síntomas que puedan derivar en una lesión posterior. Además no mejoran la reparación muscular ni la capacidad de contracción y pueden impedir que se produzcan las adaptaciones al ejercicio físico. Así, se ha visto que la utilización de ibuprofeno; con propiedades antiinflamatorias sobre todo y en menor cuantía de analgésicas, y el paracetamol, agente especialmente analgésico y no antiinflamatorio; en el largo plazo, puede disminuir la hipertrofia muscular⁵⁰. El ácido acetilsalicílico (AAS), se ha sugerido que disminuye el estrés oxidativo y los cambios en la permeabilidad de las membranas al potasio post-ejercicio⁵¹. Por este motivo, podría ser útil para evitar la fatiga muscular aunque no por ello su uso está exento de efectos deletéreos, como por ejemplo el incremento de la pérdida de hierro o pequeñas hemorragias que provoca a nivel gastrointestinal⁵.

Conclusiones

- Los medios físicos habitualmente empleados en las investigaciones actuales otorgan medidas de control objetivas, como las bioquímicas (biopsia muscular), que permiten que terapias manuales, como el masaje, puedan ser aplicadas con datos objetivos más allá de los test subjetivos sobre percepciones de recuperación, permitiendo analizar con claridad en el futuro el rango de acción de la multitud de variables de estas terapias.
- Técnicas como la crioterapia y la termoterapia y las medias de compresión, actualmente muy utilizadas, son avaladas por evidencia científica con parámetros objetivos de rendimiento físico como la fuerza, y permiten sumarse a los nuevos medios de ayudas físicas para la recuperación.
- Nuevos estímulos como la hipoxia intermitente, podrían ayudar en la recuperación del deportista, aunque todavía se necesitan más estudios para llegar al consenso.
- Desde el punto de vista dietético-ergonutricional, no cabe duda que la toma de hidratos de carbono de alto índice glucémico inmediatamente después de la actividad física mejoran la recuperación de los depósitos de glucógeno muscular. Es esencial que junto a la

toma de hidratos de carbono se tome una cantidad de proteínas hidrolizadas en una proporción HC/P, 3-4/1. Como ayuda ergonutricional parece especialmente eficaz los aminoácidos ramificados y especialmente la leucina. También resulta vital que junto a la toma de 1-1,5 g de HC por Kg de peso corporal, es necesario llevar una adecuada hidratación, ya que la glucosa tomada se almacena con agua como glucógeno.

- No cabe duda que los fármacos, especialmente los inmunomoduladores pueden ser interesantes para ayudar en la recuperación muscular en deportistas. Además, no se debe olvidar que utilizar fármacos antiinflamatorios para recuperar, aunque pueden ayudar en la fase aguda de la recuperación, no están exentos de efectos adversos y que pueden generar interacciones entre sí o con los alimentos.

Bibliografía

- Moraska A. Sports massage: a comprehensive review. *J Sports Med Phys Fitness*. 2005;45(3):370-80.
- Tee JC, Bosch AN, Lambert MI. Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Med*. 2007;37(10):827-36.
- Howatson G, Van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med*. 2008;38(6):483-503.
- de Glanville KM, Hamlin MJ. Positive effect of lower body compression garments on subsequent 40-kM cycling time trial performance. *J Strength Cond Res*. 2012;26(2):480-6.
- Gómez-Zorita S, Urdampilleta A. Influencia de la dieta y la actividad físico-deportiva sobre el efecto de los fármacos. *Arch Med Deporte*. 2013;30(1):34-42.
- Bloomer RJ. The role of nutritional supplements in the prevention and treatment of resistance exercise-induced skeletal muscle injury. *Sports Med*. 2007;37(6):519-32.
- Beelen M, Burke LM, Gibala MJ, van Loon LJC. Nutritional strategies to promote post-exercise recovery. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2010;20(6):515-32.
- Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med*. 2011 Aug 1;41(8):673-94.
- Forbes-Robertson S, Dudley E, Vadgama P, Cook C, Drawer S, Kilduff L. Circadian Disruption and Remedial Interventions. *Sports Medicine*. 2012;42(3):185-208.
- Saugy J, Place N, Millet GY, Degache F, Schena F, Millet GP. Alterations of neuromuscular function after the world's most challenging mountain ultra-marathon. *PLoS One*. 2013;8(6):e65596.
- Finsterer J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13:218-47.
- Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM, Lopez-Gruoso R. Valoración bioquímica del entrenamiento: herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 2013;17(2):73-83.
- Best TM, Hunter R, Wilcox A, Haq F. Effectiveness of sports massage for recovery of skeletal muscle from strenuous exercise. *Clin J Sport Med*. 2008;18(5):446-60.
- Billhult A, Lindholm C, Gunnarsson R, Stener-Victorin E. The effect of massage on immune function and stress in women with breast cancer - a randomized controlled trial. *Autonomic Neuroscience*. 2009;150(1):111-5.
- Crane JD, Ogborn DJ, Cupido C, Melov S, Hubbard A, Bourgeois JM, et al. Massage therapy attenuates inflammatory signaling after exercise-induced muscle damage. *Sci Transl Med*. 2012;4(119):119ra13.
- Haas C, Butterfield TA, Abshire S, Zhao Y, Zhang X, Jarjoura D, et al. Massage timing affects postexercise muscle recovery and inflammation. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(6):1105-12.
- Sefton JM, Yarrar C, Carpenter DM, Berry JW. Physiological and clinical changes after therapeutic massage of the neck and shoulders. *Man Ther*. 2011;16(5):487-94.
- Morelli M, Chapman CE, Sullivan SJ. Do cutaneous receptors contribute to the changes in the amplitude of the H-reflex during massage? *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 1999;39(7):441-7.
- Hernandez-Reif M, Field T, Krasnegor J, Theakston H. Lower back pain is reduced and range of motion increased after massage therapy. *Int J Neurosci*. 2001;106(3-4):131-45.
- Noto Y, Kudo M, Hirota K. Back massage therapy promotes psychological relaxation and an increase in salivary chromogranin A release. *Journal of Anesthesia*. 2010;24(6):955-8.
- Aksenova AM, Teslenko OI, Boganskaia OA. Changes in the immune status of peptic ulcer patients after combined treatment including deep massage. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult*. 1999;2(2):19-20.
- Zainuddin Z, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Effects of massage on delayed-onset muscle soreness, swelling, and recovery of muscle function. *J Athl Train*. 2005;40(3):174-80.
- Delaney J, Leong KS, Watkins A, Brodie D. The short-term effects of myofascial trigger point massage therapy on cardiac autonomic tone in healthy subjects. *J Adv Nurs*. 2002;37(4):364-71.
- Moeini M, Givi M, Ghasempour Z, Sadeghi M. The effect of massage therapy on blood pressure of women with pre-hypertension. *Iran J Nurs Midwifery Res*. 2011;16(1):61-70.
- Takamoto K, Sakai S, Hori E, Urakawa S, Umeno K, Ono T, et al. Compression on trigger points in the leg muscle increases parasympathetic nervous activity based on heart rate variability. *The Journal of Physiological Sciences*. 2009;59(3):191-7.
- Versey NG, Halson SL, Dawson BT. Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Medicine*. 2013;43(11):1101-30.
- Duffield R, Murphy A, Kellett A, Reid M. Recovery from repeated on-court tennis sessions: combining cold-water immersion, compression, and sleep recovery interventions. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(2):273-82.
- Pruscino CL, Halson S, Hargreaves M. Effects of compression garments on recovery following intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(6):1585-96.
- Born D, Sperlich B, Holmberg H. Bringing light into the dark: effects of compression clothing on performance and recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2013;8(1):4-18.
- Ali A, Creasy RH, Edge JA. The effect of graduated compression stockings on running performance. *J Strength Cond Res*. 2011;25(5):1385-92.
- MacRae MBA, Cotter JD, Laing RM. Compression garments and exercise. *Sports medicine*. 2011;41(10):815-43.
- Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Corbi F, Pagès T, Viscor G. Changes in heart rate recovery index after a programme of strength/endurance training in hypoxia. *Apunts. Medicina de l'Esport*. 2012;47(173):23-9.
- Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Urdampilleta A, Corbi F, Viscor G. Potenciales aplicaciones del entrenamiento de hipoxia en el fútbol. *Apunts. Medicina de l'Esport*. 2013;48(179):103-8.
- Urdampilleta A, Álvarez-Herms J, Martínez Sanz J, Corbi F, Roche E. Physical rehabilitation in football by mechanical vibration and hypoxia. *Rev Int Med Cienc AF Deporte*. 2014; 14 (53):119-34.
- Aragon AA, Schoenfeld BJ. Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window. *J Int Soc Sports Nutr*. 2013 Jan 29;10(1):5.
- Kerksick C, Harvey T, Stout J, Campbell B, Wilborn C, Kreider R, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2008;5(1):1-12.
- Martínez-Sanz JM, Urdampilleta A, Mielgo-Ayuso J. Necesidades energéticas, hídricas y nutricionales en el deporte. *Motricidad*. 2013;30:37-52.
- Burke LM, Hawley JA, Wong SH, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci*. 2011;29(sup1):S17-S27.
- Palacios N, Franco L, Manuz B, Villegas J. Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. Documento de consenso de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte*. 2008;136:246-58.
- Burke L. *Nutrición en el deporte: un enfoque práctico*. Madrid: Médica Panamericana; 2009.
- Urdampilleta A, Vicente-Salar N, Martínez Sanz JM. Necesidades proteicas de los deportistas y pautas dietético-nutricionales para la ganancia de masa muscular. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 2012 0;16(1):25-35.
- American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine, Rodríguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):709-31.
- Sharp CP, Pearson DR. Amino acid supplements and recovery from high-intensity resistance training. *J Strength Cond Res*. 2010;24(4):1125-30.
- Newsholme P, Krause M, Newsholme EA, Stear SJ, Burke LM, Castell LM. BJSM reviews: A to Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance—part 18. *Br J Sports Med*. 2011;45(3):230-2.
- Wilson JM, Fitschen PJ, Campbell B, Wilson GJ, Zanchi N, Taylor L, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB). *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;10(1):1-14.

46. Sartini S, Sestili P, Colombo E, Martinelli C, Bartolini F, Ciuffoli S, *et al.* Creatine affects in vitro electrophysiological maturation of neuroblasts and protects them from oxidative stress. *J Neurosci Res.* 2012;90(2):435-446.
47. Córdova A. Los inmunomoduladores frente a la inflamación y daño muscular originados por el ejercicio. *Apunts. Medicina de l'Esport.* 2010;45(168):265-270.
48. Gomez-Cabrera MC, Ristow M, Vina J. Antioxidant supplements in exercise: worse than useless? *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2012;302(4):E476-7; author reply E478-9.
49. Matuszczak Y, Farid M, Jones J, Lansdowne S, Smith MA, Taylor AA, *et al.* Effects of N-acetylcysteine on glutathione oxidation and fatigue during handgrip exercise. *Muscle Nerve.* 2005;32(5):633-638.
50. Trappe TA, White F, Lambert CP, Cesar D, Hellerstein M, Evans WJ. Effect of ibuprofen and acetaminophen on postexercise muscle protein synthesis. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2002;282(3):E551-6.
51. Steinberg J, Gannier M, Michel F, Faucher M, Arnaud C, Jammes Y. The post-exercise oxidative stress is depressed by acetylsalicylic acid. *Respiratory physiology & neurobiology.* 2002;130(2):189-199.