

**FATIGA MUSCULAR**  
**Prof. Dr. Alfredo CÓRDOVA**  
**Catedrático de Fisiología.**  
**Universidad de Valladolid**

El ejercicio físico sostenido conduce inexorablemente a una reducción de la capacidad de producir fuerza voluntaria. Esta situación se le denomina "fatiga muscular", que se manifiesta como un deterioro de la función muscular y/o una reducción de la capacidad del sistema nervioso central para activar los músculos

Es evidente que la fatiga causada por el ejercicio se ha convertido en un fenómeno común entre atletas, estudiantes, trabajadores de oficina y grupos urbanos de fitness. La fatiga es principalmente un incómodo fenómeno fisiológico causado por la incapacidad del cuerpo para mantener la intensidad del ejercicio. Por ello, la fatiga inducida por el ejercicio, es decir, la fatiga debida a la carga física, es una posible consecuencia que puede aumentar la probabilidad de que se produzcan lesiones.

Más común es encontrarnos con que el esfuerzo muscular desacostumbrado o por una gran exigencia, puede provocar una importante fatiga muscular acompañada de daño muscular. Como causa de esta situación, además del componente mecánico que ello conlleva, se sugiere que las deficiencias metabólicas pueden desempeñar un papel importante en el daño muscular cuando la tensión metabólica supera la tensión mecánica.

Los indicadores de daño muscular son varios, como el efecto de la repetición de los ejercicios, las diferencias de sexo, el impacto en la función neuromuscular y por tanto el daño a la maquinaria contráctil, los tipos de fibras, deterioro del metabolismo y la respuesta inflamatoria. Todo ello va a ser determinante en el proceso de recuperación.

Además, se ha observado una mayor incidencia de las infecciones específicas en situaciones de fatiga debidas a sesiones de entrenamiento intenso o competiciones extenuantes. Todo ello se acompaña de una situación general de estrés con acumulación de cortisol como máximo exponente de lo que es el estrés acumulado.

El ejercicio prolongado puede también, por sí mismo, estimular la liberación de cortisol como un mecanismo de control metabólico normal. La secreción de cortisol inducida por el "estrés" puede, además, suprimir la función inmunológica.

Por otra parte, en personas mayores, todas ellas con mayor o menor grado de sarcopenia. Esta, es una evolución fisiológica progresiva, caracterizada por una disminución de la fuerza muscular, de la masa muscular y finalmente del rendimiento físico.

Cuando las situaciones se prolongan (bien sea por el ejercicio o bien por el propio envejecimiento) se produce un desbalance anabólico (testosterona)/catabólico (cortisol), es decir, predominan los fenómenos de destrucción sobre los de regeneración.

Estos efectos debilitantes que condicionan el aumento en el requerimiento físico van acompañados de la fatiga percibida. Esto incluye al aumento de la percepción de esfuerzo y el dolor inducido por el ejercicio.

### Etiología

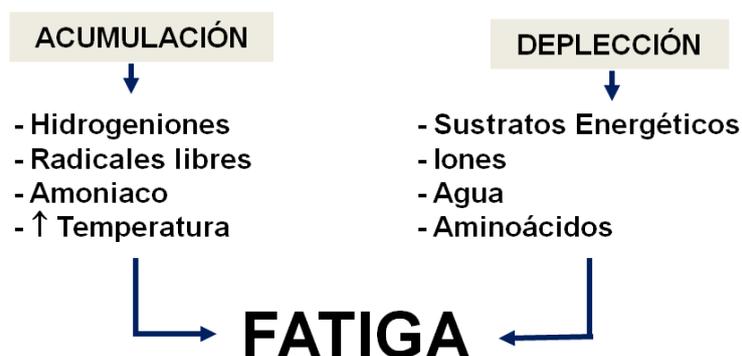
La fatiga puede ser la consecuencia de diferentes situaciones, principalmente, sobrecarga de ejercicio, el trabajo y el descanso, factores mentales y factores derivados de enfermedad.

La aparición de la fatiga por el ejercicio se relaciona principalmente con el consumo energético excesivo provocado por la exigencia física, que promueve la transformación del metabolismo energético y de energía y conduce a la acumulación excesiva de una serie de metabolitos relacionados con la fatiga. De forma general podríamos decir que se debe a numerosas causas, pero de una forma más concreta podría ser por:

- Disminución de las reservas energéticas
- Acumulación de sustancias intermedias y terminales del metabolismo
- Alteraciones hidroeléctricas
- Inhibición de la actividad enzimática
- Desplazamiento de electrolitos
- Disminución a nivel hormonal
- Cambios en los órganos de la célula muscular
- Procesos inhibidores a nivel del sistema nervioso central
- Regulación celular de los distintos sistemas orgánicos.
- Mala alimentación

Si lo pusiéramos en función de lo que puede faltar o lo que por su acumulación produce, las principales causas de la fatiga son: la acumulación de protones en la célula muscular (disminución del pH), el agotamiento de las fuentes de energía (por ejemplo, la fosfocreatina y el glucógeno), la acumulación de amoníaco y de ácido láctico en la sangre y los tejidos, desequilibrio de la presión osmótica, el estrés oxidativo (aumento del nivel de especies reactivas de oxígeno (ROS)), el daño muscular y los cambios en la síntesis de neurotransmisores, como el aumento de la serotonina y la disminución de la dopamina.

## MECANISMOS DE LA FATIGA



La acidosis ha sido considerada como un importante factor de la fatiga. La acidosis intracelular produce inhibición del metabolismo energético. En este sentido, recordar que las enzimas claves en la glucogenolisis y la glucólisis son la fosforilasa y la fosfofructoquinasa, respectivamente. Estas enzimas son inhibidas a un pH bajo.

Recuperación

La recuperación puede definirse como la compensación de fatiga. Las estrategias de recuperación deben centrarse en invertir o minimizar estas fuentes de fatiga, y que pasan desde la propia utilización de la actividad física, hasta los aspectos nutricionales, tanto por la alimentación como por la suplementación con productos naturales que aceleran el proceso.

La recuperación puede ser activa, aquella que se realiza de inmediato, justo después de finalizar la actividad o en la siguiente sesión de entrenamiento. Sus efectos son la reducción del dolor muscular, restablecimiento de la capacidad de contracción muscular, descenso de la temperatura central, sensación de un estado de bienestar, etc.

La recuperación pasiva hace referencia a la inactividad post-ejercicio sin realizar nada extraordinario y conduciendo al retorno intrínseco al estado de homeostasis tras la realización de actividad física intensa.

Sin embargo, actualmente, son evidentes los efectos beneficiosos de elementos nutracéuticos como coadyuvantes a la recuperación. En este sentido son varias las sustancias que actúan en la recuperación, pero todas tienen en común la aceleración del proceso. La suplementación nutricional es clave tras el ejercicio pues, se incrementa la sensibilidad del músculo a los estímulos nutricionales ayudando a la restitución de elementos energéticos, antes de la siguiente sesión, para así asegurar un adecuado rendimiento físico. Si la recuperación es más efectiva, entonces se puede concebir que la carga de entrenamiento pueda incrementarse a un ritmo más rápido para una mayor adaptación al entrenamiento. Los nutrientes pueden atenuar la respuesta de la hormona catabólica del estrés y ayudar a prevenir la degradación adicional de las proteínas, acelerando así la acreción proteica.

Por tanto, la recuperación involucra el restablecimiento de las reservas de energía y nutrientes, un retorno a la función fisiológica normal, una reducción de los dolores musculares y la desaparición de síntomas psicológicos asociados a la fatiga.

Desde el punto de vista fisiológico, en el ámbito del entrenamiento se establecen unos tiempos para que la recuperación sea efectiva.

### Abordaje terapéutico nutricional

La suplementación crónica/profiláctica nutricional o de suplementos junto con un programa de entrenamiento periodizado puede facilitar las estrategias para permitir una mayor capacidad de trabajo. La reducción de los síntomas del daño muscular puede mejorar el cumplimiento del programa de ejercicio tanto en individuos entrenados, no entrenados, o en adultos mayores, que pueden percibir la rigidez muscular como un resultado negativo de la fatiga.

La decisión sobre estrategia nutricional a emplear, debe tener en cuenta la actividad biológica de la sustancia a utilizar. Varios estudios han demostrado que tanto los alimentos, como algunos productos naturales (nutracéuticos), tienen un alto valor medicinal y sanitario en el tratamiento y la prevención de la fatiga. Muchos los nutracéuticos que tienen efectos antioxidantes, anti-fatiga y antienvjecimiento, que también pueden mejorar la capacidad de ejercicio y prevenir enfermedades sistémicas.

Cualquier deficiencia de nutrientes puede conducir a una disminución en la capacidad física y mental.

Distintos tipos y combinaciones de nutrientes son utilizados con el fin de estimular las hormonas anabólicas como mecanismo de recuperación muscular. La arginina y los

aminoácidos ramificados son importantes en este proceso. Los BCAA, porque promueven la síntesis de proteínas musculares.

Desde el punto de vista energético la creatina y la carnitina tienen un papel destacados. La L-carnitina es indispensable para el metabolismo intermediario y su principal función es actuar como portador para el transporte de los ácidos grasos hasta la matriz mitocondrial donde tiene lugar la  $\beta$ -oxidación. En definitiva, la L-carnitina elimina los radicales libres (ROS). La creatina produce aumentos en la masa magra, la fuerza y la potencia.

Un aminoácido (no esencial) clave en la recuperación es la glutamina por su papel modulador del sistema inmunológico. Por otra parte, la citrulina junto con la arginina inducen la protección vascular a través de la producción de NO, suprimiendo el daño endotelial. Además, la citrulina reduce las concentraciones séricas de IL-6, TNF- $\alpha$  y proteína C reactiva (CRP), que aumentan con el ejercicio físico. También promueve el metabolismo aeróbico disminuyendo los niveles de acidosis.

Por supuesto, es evidente la contribución de las vitaminas y minerales en la recuperación, dado su papel de reguladores metabólicos.