

EFECTOS BIOMECÁNICOS DE LA FATIGA

*Narcís Gusi,
Licenciado en Educación Física,
Centro de Investigación del INEFC-Barcelona.*

Resumen

La fatiga influye decisivamente en una serie de factores (físicos, ambientales, psicológicos y técnicos). Esta influencia causa una modificación gradual de los parámetros de ejecución de una actividad determinada. El entrenamiento del individuo debe preparar los gestos motrices más adaptados en cada momento. El estudio biomecánico debe aportar conocimientos y soluciones a esta necesidad deportiva.

Palabras clave: biomecánica, fatiga, adaptación.

Introducción

Todos hemos visto atletas de competición con una clase y estilo de carrera excelentes, acortando la zancada al final de una maratón, o un equipo de baloncesto descendiendo el porcentaje de efectividad en el lanzamiento a medida que aumenta el cansancio. Basta observar el marcador para constatar que las defensas de los deportes de equipo suelen ser más débiles en la segunda parte.

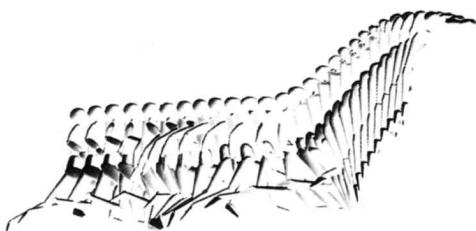
Por tanto, se producen variaciones en las acciones motrices de los deportistas a medida que transcurre la actividad física. Platonov afirma que "el principal factor de perturbación de la estabilidad de las acciones motrices lo constituye la fatiga que se acumula a medida que se desarrolla una actividad física. Incluso los deportistas de más alto nivel son incapaces de mantener una estabilidad en las acciones motrices" (1988) (tabla 1).

Conceptos básicos

Toda actividad física se compone de una serie de acciones o habilidades. Estas acciones deben ser realizadas de forma consecutiva o simultánea. Esta

Tabla 1. EJEMPLOS DE ACTIVIDADES AFECTADAS POR LA FATIGA

ACTIV. / FATIGA	F. ENERGÉTICA	S. NEUROMUSC	PSICOLO. S. N.
COMPETICIÓN	FINAL MARATÓN	TENSIÓN EN TIENS MESA	DEPORTES DE PRECISIÓN Y CONCENTRACIÓN (TIRO)
	VUELTAS CICLISTAS	PARATONÍAS O AGARROTAJOS	RUIDO DEL PÚBLICO EN SALA
ENTRENAMIENTO	TENDINITIS POR SOBRECARGA	SINCINESIAS (USO DIFERENTE DE LOS MÚSCULOS)	DESMOTIVACIÓN
	IMPOSIBILIDAD TERMINAR ENTRENAMIENTO	SOBRECARGA DIFERENCIADA MUSCULAR	INESTABILIDAD COMPORTAMIENTO
OTRAS ACTIVIDADES (COTIDIANAS)	INCREMENTO HAMBRE	DEBILIDAD EN LAS ACCIONES	INSOMNIO
	LENTITUD DE MOVIMIENTOS	IMPRECISIÓN EN MOVIMIENTOS	INTOLERANCIA



capacidad de combinar las habilidades se denomina coordinación. La combinación de estas habilidades debe ser precisa y económica. La precisión será fundamentalmente temporal y espacial. La economía se asocia habitualmente a los procesos energéticos. Concretamente estudiaremos el aspecto locomotor de la coordinación: la biomecánica del movimiento. La precisión se define como la capacidad de colocar voluntariamente los segmentos corporales en un lugar y un momento concreto. La economía es la capacidad de ejecutar con precisión un movimiento con el mínimo consumo energético. Este aspecto implica economizar fuerzas (ergonomía) y placas motoras (paratonías, sincinesias, etc.). Una de las principales formas de economizar energía reside en el automatismo de las acciones que libera, parcialmente, al sistema nervioso.

La literatura define la fatiga de forma diferente. Estas diferencias habitualmente son debidas a la especificidad del área de conocimiento del investigador. Un análisis general de estas definiciones nos indica que existe un proceso gradual de fatiga que no suele actuar de un modo uniforme, sino polifactorialmente. Esto significa que existe una interrelación de diversos factores o variables afectadas por la fatiga.

Factores limitantes de la coordinación por fatiga

Según Platonov, pueden distinguirse dos tipos de fatiga a nivel práctico (figura 1):

- a) **Fatiga evidente.** Se manifiesta por la reducción de la capacidad de mantener una carga de trabajo determinada.
- b) **Fatiga latente.** El individuo mantiene la carga de trabajo por la reclamación cada vez más forzada de los recursos del organismo.

La fatiga de una serie de factores influye negativamente en la correcta ejecución biomecánica de un gesto. La incidencia sobre el rendimiento puede ser

porcentual en un estado de fatiga latente y total en situación de fatiga evidente. Una fatiga latente suele modificar diversos aspectos metabólicos, musculares y coordinativos. Estos cambios modifican la acción motriz influyendo significativamente en el automatismo de la actividad física. En consecuencia, la fatiga latente también puede influir totalmente en la técnica y la acción motriz del individuo. Por tanto, biomecánicamente, la



Red squadron 4. MARY, Freddy. Bélgica. Foto Sport 90

rendimiento y entrenamiento

Figura 1. INFLUENCIA DE LA FATIGA SOBRE EL RENDIMIENTO Y EL GESTO BIOMECÁNICO

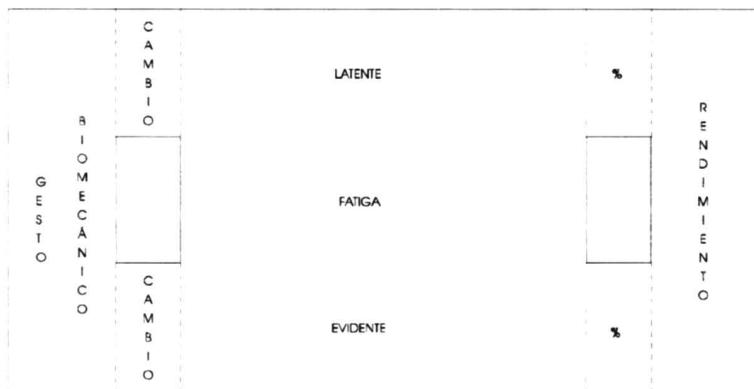
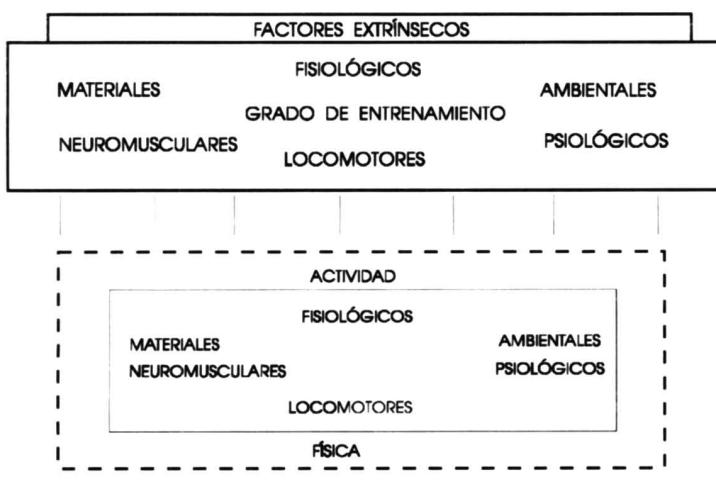


Figura 2. FACTORES LIMITANTES BIOMECÁNICOS A CAUSA DE LA FATIGA



fatiga de estos factores es limitante de un determinado movimiento. La influencia porcentual de cada factor dependerá de las características específicas individuales y de la actividad deportiva.

Un factor puede ser limitante de forma:

- Directa, cuando una variable incide durante la ejecución de la actividad deseada. Por ejemplo, la influencia de un factor sobre la competición o la realización de una sesión concreta.
- Aplazada, cuando el factor influye sobre una actividad que se realizará posteriormente. Por ejemplo, aquellas variables que impiden un entrenamiento, aprendizaje o preparación biomecánica adecuada (cargas de un entrenamiento o competición anterior, problemas familiares, etc.).

Concretamente, un golpe o traumatismo sobre un cuádriceps podría ser un factor limitante en una situación deportiva. Actuaría como un factor indirecto si el traumatismo hubiese impedido entrenar correctamente un gesto técnico para una competición. En cambio, incidiría directamente sobre las sesiones de entrenamiento, si el golpe lo hubiese recibido durante la competición.

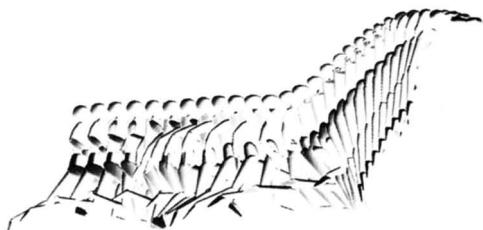
Es útil emplear una perspectiva amplia de los factores que debido a su fatiga pueden afectar la ejecución correcta de una habilidad (figura 2):

Extrínsecos a la actividad

Una actividad física puede estar afectada por factores o causas externas a la misma.

Fisiológicos

Por ejemplo, un déficit de sustancias



energéticas (glucógeno, ácidos grasos, etc.) puede ser causado por la dieta, la periodización de las cargas (trabajo, entrenamiento o competitivas), horas de sueño, etc.

Materiales

Los utensilios del entrenamiento pueden estar desgastados y afectar al entrenamiento técnico y específico de la actividad. Posibles causas: calzado deportivo, pesas, palos de hockey u otro deporte, balón, etc.

Psicológicos

La concentración requerida por la actividad puede mermar por problemas laborales, familiares o de relación con el resto de los compañeros deportivos o de actividad, por problemas de autocontrol corporal (relajación antagonista y ergonomías), o debido al porcentaje de combates o asaltos y a la frecuencia competitiva, etc.

Locomotores

Puede estar reducida la disponibilidad de los segmentos corporales por patología traumática (sobrecargas, inflamaciones o roturas musculares, tendinosas, articulares, etc.) y los procesos de entrenamiento no específicos como la hipertrofia.

Neuromusculares

El control del sistema nervioso de los músculos puede verse afectado por productos químicos (tratamiento de enfermedades, doping, etc.), periodización del entrenamiento (recuperación del sistema nervioso, recuperación del sistema sensitivo, etc.) u otros factores.

Ambientales

Las condiciones ambientales pueden impedir el correcto entrenamiento (tipo de superficie o terreno, actividades con público, etc.).

Grado de entrenamiento

Este factor es fundamental para medir, controlar y modular el efecto de los factores anteriores sobre la actividad física (resistencia a la fatiga física, psicológica, etc.). Este es el factor que más influye en los profesionales del deporte.

Intrínsecos a la actividad

La práctica de la actividad física puede provocar una fatiga progresiva que incida negativamente en la ejecución biomecánica a medida que se realiza dicha actividad.

Fisiológicos

Las disponibilidades energéticas son limitadas. Un déficit energético puede ocasionar cambios metabólicos que influyan significativamente en un descenso de la intensidad de la acción muscular (por ejemplo, "el muro de la maratón").

Neuromusculares

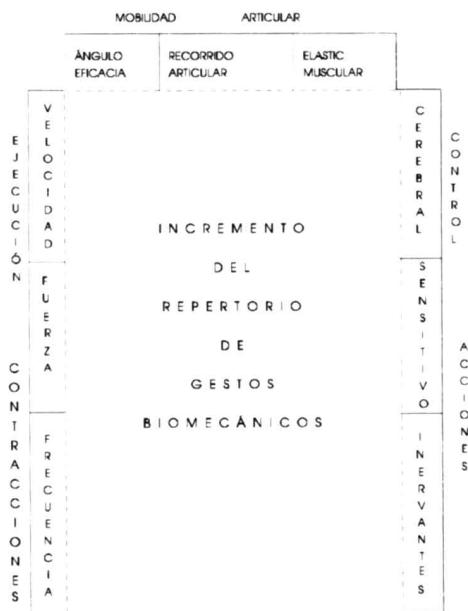
La fatiga del sistema neuromuscular puede afectar de diversas formas:

- El agotamiento de ciertas unidades motrices obliga al organismo a solicitar otras porciones musculares con umbrales de excitación más elevados y características del movimiento diferentes (ángulos de acción y eficacia distintos) (Monogarov y Mitchenko, 1979). La excitación de nuevas placas motoras origina una mayor participación del sistema nervioso que puede aumentar la fatiga de este sistema. Esto implica nuevas coordinaciones y, por tanto, nuevos gestos biomecánicos.
- El agotamiento del sistema nervioso



Közöny. HORVATH, Gyula. Hungría. Foto Sport 80.

Figura 3. PARÁMETROS BIOMECÁNICOS INFLUIDOS POR LA FATIGA



puede originar la excitación de menos porciones musculares. En consecuencia, la coordinación muscular variará.

Materiales

El desgaste de los materiales puede ocasionar un cambio sustancial del gesto biomecánico más adaptado. Por ejemplo, la pérdida del componente elástico de las pelotas y del cordaje de las raquetas de tenis; la influencia del sudor sobre la ropa y el calzado.

Ambientales

El ambiente puede ocasionar cambios

biomecánicos como agente fatigador o gastado:

Como agente fatigador

- Cambios ambientales. El individuo pierde progresivamente la capacidad de adaptación a ambientes distintos debido a la fatiga. Por ejemplo, un ciclista puede variar su medio ambiente varias veces durante una competición (temperatura, altitud, tipo de terreno, etc.), adaptación a la visibilidad nocturna, etc.

- Sobreexcitación sensitiva. Los jugadores suelen fatigarse por un exceso de excitación sensitiva (público, excesivo número de órdenes del en-

trenador, color de la camiseta del contrincante, etc.).

Como agente gastado.

Deterioro de las condiciones iniciales. Las superficies de tierra batida de una pista de tenis pierden su homogeneidad. Las condiciones de las pistas de esquí y los circuitos de cross se modifican con el paso de los deportistas.

Psicológicos

A medida que avanza la actividad puede incrementarse la fatiga mental. Ésta puede traducirse en una falta de concentración en la actividad que, a su vez, implique una mayor influencia de otros factores fatigantes intrínsecos o extrínsecos. La fatiga psicológica puede mermar el control corporal, hecho que suele ocasionar una disminución de la precisión y la economía de la actividad.

Locomotores

El aparato locomotor (músculos, tendones, articulaciones, etc.) se sobrecarga con el transcurso de la actividad. Esta sobrecarga se traduce paulatinamente en descensos de la economía y precisión debidos al incremento del tono muscular, disminución de la absorción articular de los microtraumatismos, inflamación tendinosa, etc. Estos cambios suelen ocasionar variaciones notables en la movilidad articular, sinergia muscular (relación contracción-relajación de músculos agonistas y antagonistas) y coordinación entre acciones biomecánicas.

Influencia de la fatiga

El cansancio influye fundamentalmente sobre tres parámetros (figura 3):

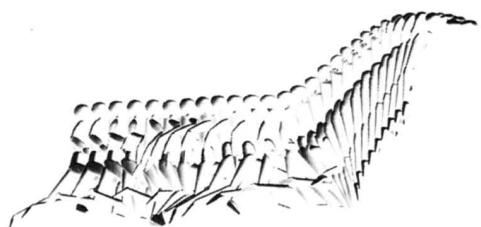
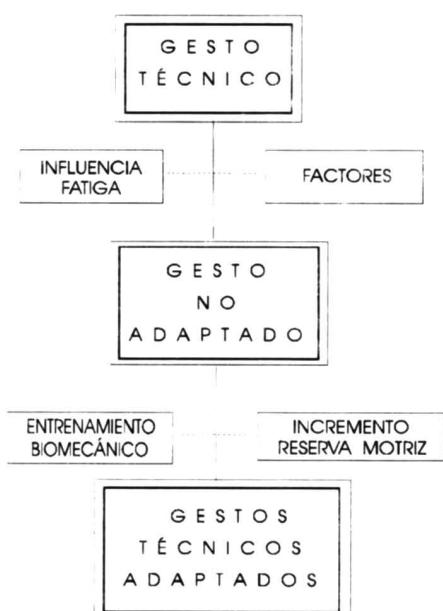


Figura 4. INFLUENCIA BIOMECÁNICA DE LA FATIGA



Movilidad articular

La movilidad articular es afectada por el aumento de la fatiga (Ozoline, 1970). La variación de las amplitudes articulares implica alteraciones en los recorridos articulares y los ángulos de eficacia de cada movimiento. Estas alteraciones inciden en la fuerza, velocidad y coordinación de las acciones motrices. El descenso de la movilidad mermalas posibilidades de utilización del componente elástico muscular. Esto ocasiona variaciones en el inicio del gesto (fuerza elástica y actividades pliométricas), en actividades excéntricas y actividades que utilicen ángulos extremos de amplitud. La actividad en los

ángulos extremos puede verse imposibilitada, mermada o resultar peligrosa (el componente elástico no puede proteger normalmente las articulaciones).

Ejecución de las contracciones

El cansancio modifica la velocidad, fuerza y frecuencia de los gestos técnicos (Platonov, 1988). Estas modificaciones afectan las coordinaciones intra e intermusculares.

Control de las acciones motrices

La fatiga incide en diferentes niveles del sistema nervioso:

- Cerebral (nivel psicológico). Dismi-

nuye la capacidad de concentración y excitación nerviosa. Sigue causar una depresión, beneficiosa en ciertos contextos.

- Sensitivo o aferente. la focalización estrecha de la atención que conlleva una dificultad de adaptación a los cambios ambientales o de la actividad deportiva. Esta focalización estrecha puede occasionar problemas en deportes colectivos con alto grado de incertidumbre (por ejemplo, el baloncesto).
- Inervante o eferente. El incremento de la fatiga puede causar la utilización de otras unidades motrices y el reclutamiento de menos unidades motrices. Esto causa un cambio en la utilización de las unidades motrices y, por tanto, origina una nueva sincronización y coordinación muscular.

Incremento del repertorio de acciones motrices

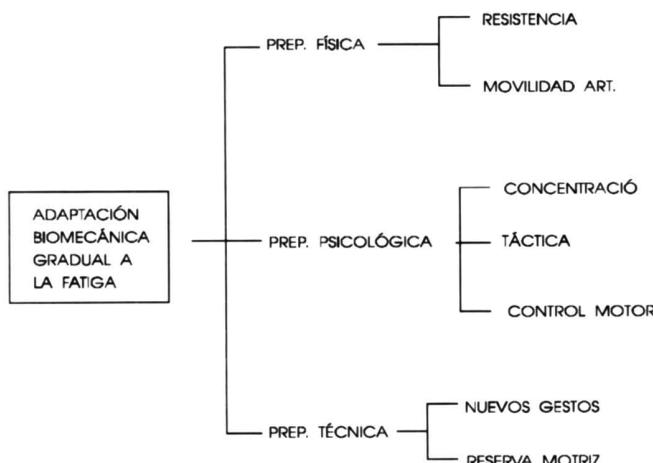
Las influencias descritas originan cambios sustanciales en los gestos biomecánicos. Por tanto, el individuo utiliza un repertorio mayor de habilidades motrices en situaciones diferentes (figura 4).

En conclusión, la influencia de la fatiga origina cambios biomecánicos en la ejecución y el control de la actividad física. El cansancio puede causar descensos en la precisión, en el rendimiento motor e incluso lesiones. Estos cambios requieren la utilización de nuevos estereotipos o gestos motrices adaptados a los recursos disponibles por el organismo en cada momento (físicos y psicológicos).

Aplicaciones prácticas

Los efectos nocivos de la fatiga sobre la

Figura 5. APLICACIONES



eficacia y el rendimiento motor en una determinada actividad física pueden ser evitados, aplazados o disminuidos. Un individuo es capaz de aplazar la aparición de la fatiga y sus efectos mediante un entrenamiento orientado a este fin. Si la actividad es suficientemente corta, el aplazamiento puede suponer una evitación. Si no fuera posible evitar los efectos del cansancio, el individuo puede atenuar sus efectos temporales y técnicos. La atenuación temporal se consigue con el aplazamiento de la aparición de la fatiga. El sujeto puede adaptarse a una situación distinta empleando nuevos recursos técnicos susceptibles de entrenamiento (figura 5).

Con el objeto de disminuir los efectos de la fatiga el entrenamiento o preparación centran su atención en resistir y adaptarse mejor a las características secuenciales de la actividad. Existen diversos métodos de entrenamiento para conseguir estos objetivos:

La preparación física

Evidentemente, una mejor condición física aplazará la aparición del cansancio. El entrenamiento debe orientarse fundamentalmente al trabajo de la resistencia y la movilidad articular.

La preparación psicológica

El objetivo fundamental es el control motor. El deportista puede utilizar di-

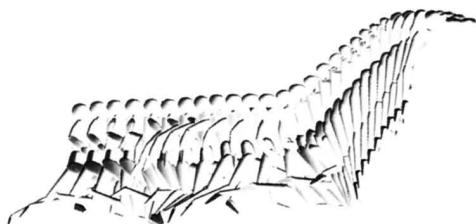
ferentes métodos para obtener los objetivos operativos siguientes:

- Desarrollar la resistencia de la concentración en la actividad.
- Reconocer el estado del aparato locomotor (técnicas de relajación, sofrología, etc.). Este objetivo podría conseguirse con los pasos metodológicos siguientes:
 - El individuo reconoce el tono muscular.
 - Control diferenciado del tono y contracción de cada músculo.
 - Sincronización óptima entre agonistas y antagonistas.
 - Un último paso en que se introduciría una preparación específica: entrenar los tres pasos anteriores en diferentes grados de fatiga.
- Administrar el esfuerzo. La racionalización del esfuerzo sería un componente táctico.

La preparación técnica

El objetivo es entrenar nuevos gestos biomecánicos adaptados específicamente a cada grado de fatiga. De esta forma la reserva de habilidades y estereotipos motrices aumenta.

Se sabe bastante acerca de los factores limitantes y la preparación del individuo para realizar una actividad en fases iniciales y utópicas. Pero existe una laguna del conocimiento importante en el entrenamiento de las adaptaciones progresivas al esfuerzo físico. Este déficit se acusa fundamentalmente en la preparación psicológica y técnica. Considero de gran interés el estudio biomecánico de este tipo de adaptaciones.



BIBLIOGRAFÍA

- CAVANAGH, P.R.; WILLIAMS, K.R., "The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running", *Medicine Sciences Sports Exercice*, 14, pp. 30-35, 1982.
- DENOOTH, J.; NIGG, B., "The influence of various sport floors on the load on the lower extremities", *Biomechanics* VII-B P.V.N., Varsovia, 1982.
- FOMINAYA, J.; OROZCO, M.M., "Efectos psicosomáticos del ejercicio", *Apunts*, 25, pp. 37-47, 1988.
- GARFIELD, CH.; BENETT, D., *Rendimiento máximo*, Martínez Roca, Barcelona, 1987.
- HOLLOSZY, J.; BOOTH, F., "Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle", *Ann. Rev. Physiol.*, 38, pp. 273-291, 1976.
- JOLESZ, F.; SRÉTER, F.A., "Development, innervation and activity pattern-induced changes in skeletal muscle", *Ann. Rev. Physiol.*, 43, pp. 531-552, 1981.
- KOZLOWSKI, S.; BRZEZINSKA, Z.; KRUB, B.; KAZIUBA, H.; GREENLEAF, J.E.; NAZAR, K., "Exercise hyperthermia as a factor limiting physical performance: temperatura effect on muscle metabolism", *J. Applied Physiol.*, 58, pp. 766-773, 1985.
- LAWTHER, JD, *Aprendizaje de las habilidades motrices*, Paidos, Buenos Aires, 1978.
- PLATONOV, V.N., *El entrenamiento deportivo. Teoría y metodología*, Paidotribo, Barcelona, 1988.
- RODAS, G.; ESTRUCH, A.; PONS, V.; VENTURA, J.L., "¿Se modifica la economía de carrera con el entrenamiento?", *Apunts de Medicina de l'Esport*, 26, pp. 73-78, 1989.
- RODRÍGUEZ, F.A., "Fisiopatología del entrenamiento deportivo: fatiga y sobreentrenamiento", *Apunts*, 24, pp. 71-80, 1987.
- SEIRULLO, F., "La técnica y su entrenamiento", *Apunts*, 24, pp. 189-199, 1987.