

EFECTES BIOMECÀNICS DE LA FATIGA

Narcís Gusi,
Llicenciat en Educació Física,
Centre de Recerca de l'INEFC-Barcelona.

Resum

La fatiga influeix decisivament en una sèrie de factors (físics, ambientals, psicològics i tècnics). Aquesta influència causa una modificació gradual dels paràmetres d'execució d'una activitat determinada. L'entrenament de l'individu ha de preparar els gestos motrius més adaptats a cada moment. L'estudi biomecànic ha d'aportar coneixements i solucions a aquesta necessitat esportiva.

Paraules clau: biomecànica, fatiga, adaptació.

Introducció

Tots hem vist atletes de competició amb una classe i un estil de cursa excel·lents que al final d'una maratón fan més curta la gambada, o un equip de bàsquet davallant el percentatge d'efectivitat en el llançament a mesura que augmenta el cansament. Només cal observar el marcador per constatar

que les defenses dels esports d'equip solen ser més dèbils a la segona part. Per tant, es produeixen variacions en les accions motrius dels esportistes a mesura que transcorre l'activitat física. Platonov afirma que "el factor principal de perturbació de l'estabilitat de les accions motrius és la fatiga que s'acumula a mesura que es desenvolupa una activitat física. Fins i tot els

esportistes d'alt nivell són incapaços de mantenir una estabilitat en les accions motrius" (Platonov, 1988) (taula 1).

Conceptes bàsics

Tota activitat física es compon d'una sèrie d'accions o habilitats. Aquestes accions s'han de realitzar de forma

Taula 1. EXEMPLES D'ACTIVITATS AFECTADES PER LA FATIGA

ACTIV/FATIGA	F. ENERGÈTICA	S. NEUROMUSC.	PSICOLÒ. S. N.
COMPETICIÓ	FINAL MARATÓ	TENSIÓ EN PING-PONG	ESPORTS DE PRECISIÓ I CONCENTRACIÓ (TIR)
	VOLTES CICLISTES	PARATÒNIES GARROTAMENT	SOROLL DEL PÚBLIC A LA SALA
ENTRENAMENT	TENDINITIS PER SOBRECÀRREGA	SINCINÉSIES (ÚS DIFERENT DELS MÚSCULS) SOBRECÀRREGA DIFERENCIADA MUSCULAR	DESMOTIVACIÓ
	IMPOSSIBILITAT ACABAR ENTRENAMENT		INESTABILITAT COMPORTAMENT
ALTRES ACTIVITATS (QUOTIDIANES)	INCREMENT GANA	DEBILITAT EN LES ACCIONS	INSOMNI
	LENTITUD DE MOVIMENTS	IMPRECISIÓ EN MOVIMENTS	INTOLERÀNCIA



consecutiva o simultània. La capacitat de combinar les habilitats s'anomena coordinació. La combinació d'aquestes habilitats ha de ser precisa i econòmica. La precisió és fonamentalment temporal i espacial. L'economia s'associa habitualment als processos energètics. En aquest treball estudiarem, concretament, l'aspecte locomotriu de la coordinació: la biomecànica del moviment. Definirem la precisió com la capacitat de col·locar voluntàriament els segments corporals en un lloc i en un moment concret. L'economia és la capacitat d'executar amb precisió un moviment amb el mínim consum energètic. Aquest aspecte implica l'estalvi de forces (ergonomia) i de plaques motores (paratònies, sincinèsies, etc.). Una de les formes principals d'estalviar energia és l'automatisme de les accions que allibera, parcialment, el sistema nerviós.

La literatura defineix la fatiga de maneres diferents. La causa d'aquestes diferències sol ser l'especificitat de l'àrea de coneixement de l'investigador. Una anàlisi general d'aquestes definicions ens indica que hi ha un procés gradual de fatiga que no sol actuar d'una manera univariable, sinó polifactorialment. Això significa que hi ha una interrelació de diversos factors o variables afectades per la fatiga.

Factors limitants de la coordinació per la fatiga

Segons Platonov, podem distingir dos tipus de fatiga a nivell pràctic (figura 1):

a) Fatiga evident. Es manifesta per la reducció de la capacitat de mante-

nir una càrrega de treball determinada.

b) Fatiga latent. L'individu manté la càrrega de treball per la demanda cada cop més forçada dels recursos de l'organisme.

La fatiga d'una sèrie de factors influeix negativament en la correcta execució biomecànica d'un gest. La incidència sobre el rendiment pot ser percentual en un estat de fatiga latent i total en situació de fatiga evident.

Una fatiga latent sol modificar diversos aspectes metabòlics, musculars i coordinatius. Aquests canvis modifiquen l'acció motriu i influeixen significativament en l'automatisme de l'activitat física. En conseqüència, la fatiga latent també pot influir totalment en la tècnica i l'acció motriu de l'individu. Per tant, biomecànicament, la fatiga d'aquests factors limita un determinat moviment. La influència percentual de cada factor dependrà de



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

**rendiment i
entrenament**

Figura 1. INFLUÈNCIA DE LA FATIGA SOBRE EL RENDIMENT I EL GEST BIOMECÀNIC

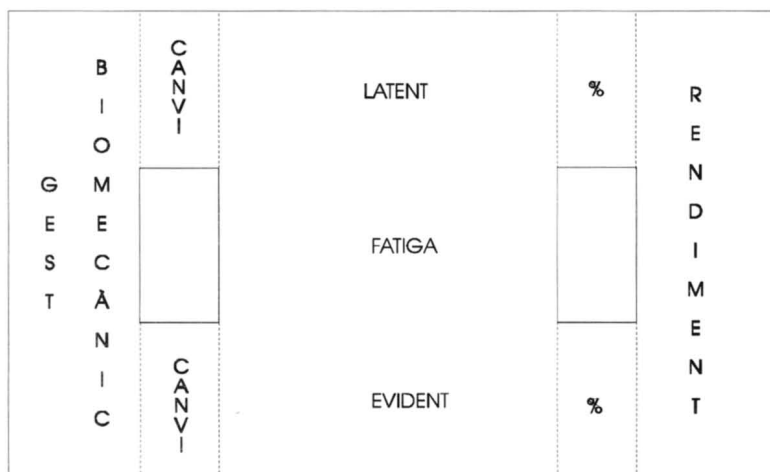
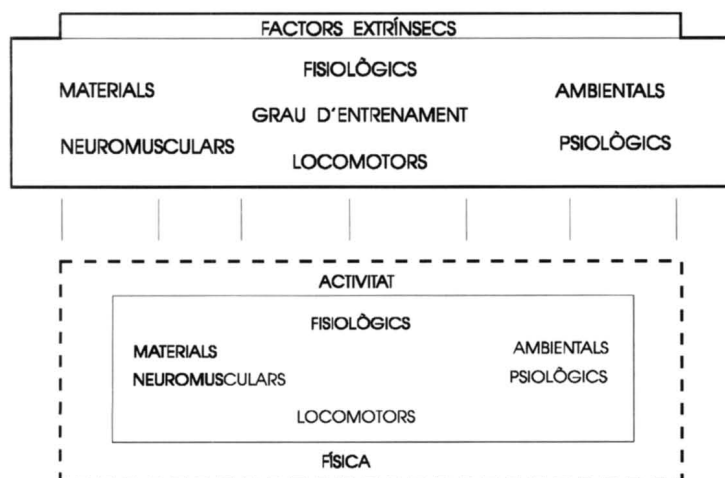


Figura 2. FACTORS LIMITANTS BIOMECÀNICS A CAUSA DE LA FATIGA



les característiques específiques individuals i de l'activitat esportiva.

Un factor pot ser limitant de manera:

- Directa, quan una variable incideix durant l'execució de l'activitat desitjada. Per exemple, la influència d'un factor sobre la competició o la realització d'una sessió concreta.
- Ajornada, quan el factor influeix sobre una activitat que es realitzarà posteriorment. Per exemple, aquelles variables que impedeixen un entrenament, aprenentatge o preparació biomecànica adequada (càrregues d'un entrenament o competició anterior, problemes familiars, etc.).

Concretament, un cop o un traumatisme sobre un quàdriceps podria ser un factor limitant en una situació esportiva. Actuarià com un factor indirecte si el traumatisme hagués impedit entrenar correctament un gest tècnic per a una competició. En canvi, incidiria directament sobre les sessions d'entrenament, o bé si hagués rebut el cop durant la competició.

És útil adoptar una perspectiva àmplia dels factors que a causa de la fatiga poden afectar l'execució correcta d'una habilitat (figura 2).

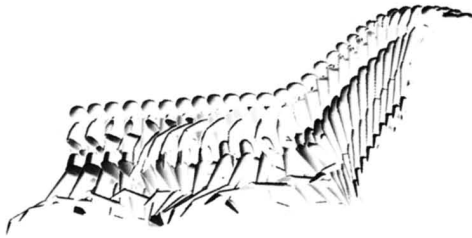
Extrínsecs a l'activitat

Una activitat física pot estar afectada per factors o causes externes a aquesta.

Fisiològics

Per exemple, un dèficit de substàncies energètiques (glucogen, àcids greixos, etc.) pot ser causat per la dieta, la periodització de les càrregues (treball, entrenament o competitives), hores de son, etc.

Materials



Els estris de l'entrenament poden estar desgastats i afectar l'entrenament tècnic i específic de l'activitat. Les causes possibles poden ser diverses: calçat esportiu, peses, estics o bastons de qualsevol esport, pilota, etc.

Psicològics

La concentració que requereix l'activitat pot minvar per problemes laborals, familiars o de relació amb els companys esportius o d'activitat, per problemes d'autocontrol corporal (relaxament antagonistes i ergonomies), o a causa del percentatge de combats o assalts i de la freqüència competitiva, etc.

Locomotrius

La disponibilitat dels segments corporals pot quedar reduïda per patologies traumàtiques (sobrecàrregues, inflamacions o esquinçaments musculars,

tendinosos, articulars, etc.) i per processos d'entrenament no específics com la hipertròfia.

Neuromusculars

El control del sistema nerviós dels músculs pot ser afectat per productes químics (tractament de malalties, dopatge, etc.), periodització de l'entrenament (repercussió del sistema nerviós, recuperació del sistema sensitiu, etc.) i altres factors.

Ambientals

Les condicions ambientals poden impedir l'entrenament correcte (tipus de superfície o terreny, activitats davant del públic, etc.).

Grau d'entrenament

Aquest factor és fonamental per mesurar, controlar i modelar l'efecte dels factors anteriors sobre l'activitat físi-

ca (resistència a la fatiga física, psicològica, etc.). Aquest és el factor que més influeix en els professionals de l'esport.

Intrínsecs a l'activitat

La pràctica de l'activitat física pot provocar una fatiga progressiva que incideix negativament en l'execució biomecànica a mesura que es realitza aquesta activitat.

Fisiològics

Les disponibilitats energètiques són limitades. Un dèficit energètic pot ocasionar canvis metabòlics que influeixin significativament en un descens de la intensitat de l'acció muscular (per exemple, "el mur de la marató").

Neuromusculars

La fatiga del sistema neuromuscular pot afectar de maneres diverses:

- L'esgotament de certes unitats motrius obliga l'organisme a sol·licitar altres porcions musculars amb llinars d'excitació més elevats i característiques diferents del moviment (angles d'acció i eficàcia diferents) (Monogarov i Mitshchenko, 1979). L'excitació de noves plaques motores origina una major participació del sistema nerviós que pot augmentar la fatiga d'aquest sistema. Això implica noves coordinacions i, per tant, nous gestos biomecànics.
- L'esgotament del sistema nerviós pot originar l'excitació de menys porcions musculars. Com a conseqüència d'aquest fet la coordinació muscular variarà.



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

		MOBILITAT ARTICULAR					
		ANGLE EFICÀCIA	RECORREGUT ARTICULAR	ELASTIC. MUSCULAR			
E X F E C U C I O	V E L O C I T A T	I N C R E M E N T D E L R E P E R T O R I D E G E S T O S B I O M E C À N I C S				C E R E B R A L	C O N T R O L
	F O R Ç A					S E N S I T I U	
	F R E Q U È N C I A					I N N E R V A N T S	
C O N T R A C C I O N S						A C C I O N S	

El desgast dels materials pot ocasionar un canvi substancial del gest biomecànic més adaptats. Per exemple, la pèrdua del component elàstic de les pilotes i del cordatge de les raquetes de tennis; la influència de la suor sobre els vestits i el calçat.

L'ambient pot ocasionar canvis biomecànics com a agent fatigant o gas-tat:

- **Canvis ambientals.** L'individu perd progressivament la capacitat d'adaptació a ambients diferents a causa de la fatiga. Per exemple, el medi am-

- **Sobreexcitació sensitiva.** Els jugadors solen fatigar-se per un excés d'excitació sensitiva (el públic, un nombre excessiu d'ordres de l'entrenador, el color de la samarreta del contrincant, etc.).

Suposa el deteriorament de les condicions inicials. Les superfícies de terra batuda d'una pista de tennis perden la seva homogeneïtat. Les condicions de les pistes d'esquí i els circuits de cros es modifiquen amb el pas dels esportistes.

A mesura que avança l'activitat pot incrementar-se la fatiga mental. Aquesta es pot traduir en una manca de concentració en l'activitat que, alhora, impliqui una major influència d'altres factors fatigants intrínsecs o extrínsecs. La fatiga psicològica pot fer disminuir el control corporal, cosa que sol ocasionar una disminució de la precisió i de l'economia de l'activitat.

L'aparell locomotriu (músculs, tendons, articulacions, etc.) se sobrecarrega en el transcurs de l'activitat. Aquesta sobrecàrrega es tradueix progressivament en davallades de l'economia i de la precisió causades per l'increment del to muscular, la disminució de l'absorció articular dels microtraumatismes, la inflamació tendinosa, etc. Aquests canvis solen ocasionar variacions notables de la mobilitat articular, sinergia muscular (relació contracció-relaxament dels músculs agonistes i antagonistes) i coordinació entre accions biomecàniques.

El cansament influeix fonamentalment sobre tres paràmetres (figura 3):

La mobilitat articular és afectada per l'augment de la fatiga. (Ozoline, 1970). La variació de les amplituds articulars implica alteracions en els recorreguts articulars i en els angles d'eficàcia de cada moviment. Aquestes alteracions incideixen en la força, velocitat i coor-

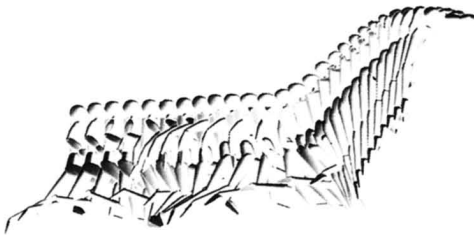
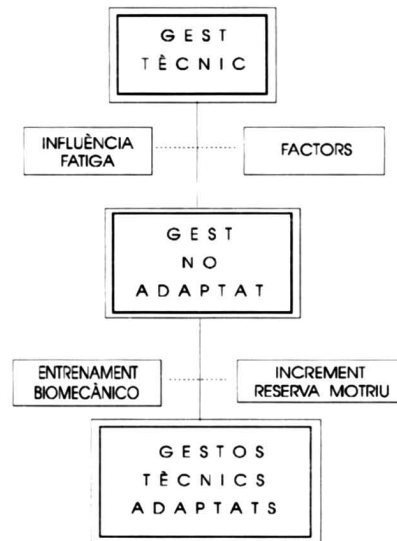


Figura 4. INFLUÈNCIA BIOMECÀNICA DE LA FATIGA.



dinació de les accions motrius. El descens de la mobilitat fa minvar les possibilitats d'utilització del component elàstic-muscular. Això ocasiona variacions en l'inici del gest (força elàstica i activitats pliòmètriques), en activitats excèntriques i en activitats que utilitzen angles extrems d'amplitud. L'activitat en els angles extrems pot ser impossibilitada, minvada o ser perillosa (el component elàstic pot no protegir normalment les articulacions).

Execució de les contraccions

El cansament modifica la velocitat, la força i la freqüència dels gestos tècnics (Platonov, 1988). Aquestes modificacions afecten les coordinacions intra i intermusculars.

Control de les accions motrius

La fatiga incideix a diferents nivells del sistema nerviós.

- Cerebral (nivell psicològic). Disminueix la capacitat de concentració i excitació nerviosa. Sol causar una depressió beneficiosa en certs contextos.
- Sensitiu o aferent. La focalització estreta de l'atenció que comporta una dificultat d'adaptació als canvis ambientals o de l'activitat esportiva. Aquesta focalització estreta pot ocasionar problemes en esports col·lectius amb un alt grau d'incertesa (per exemple, el bàsquet).
- Innervant o eferent. L'increment de la fatiga pot provocar la utilització

d'altres unitats motrius i el reclutament de menys unitats motrius. Això causa un canvi en la utilització de les unitats motrius i, per tant, origina una nova sincronització i coordinació muscular.

Increment del repertori d'accions motrius

Les influències descrites originen canvis substancials en els gestos biomecànics. Per tant, l'individu utilitza un repertori major d'habilitats motrius en situacions diferents (figura 4).

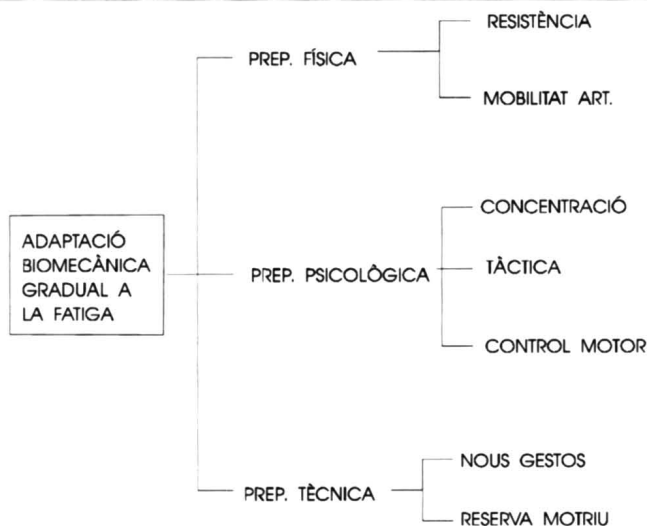
Com a conclusió, podem dir que la influència de la fatiga origina canvis biomecànics en l'execució i el control de l'activitat física. El cansament pot causar descensos en la precisió, en el rendiment motor i fins i tot lesions. Aquests canvis requereixen la utilització de nous estereotips o gestos motrius adaptats als recursos disponibles per l'organisme a cada moment (físics i psicològics).

Aplicacions pràctiques

Els efectes nocius de la fatiga sobre l'eficàcia i el rendiment motor en una determinada activitat física es poden evitar, ajornar o disminuir. Un individu és capaç d'ajornar l'aparició de la fatiga i dels seus efectes mitjançant un entrenament ben orientat. Si l'activitat és suficientment curta, l'ajornament pot suposar evitar els efectes del cansament. Si fos impossible d'evitar-los, l'individu pot atenuar els efectes temporals i tècnics. L'atenuació temporal s'aconsegueix amb l'ajornament de l'aparició de la fatiga. El subjecte pot

**rendiment i
entrenament**

Figura 5. APLICACIONS



adaptar-se a una situació diferent emprant nous recursos tècnics susceptibles d'entrenament (figura 5). Per tal de minimitzar els efectes de la fatiga, l'entrenament o la preparació centren la seva atenció a resistir i adaptar-se millor a les característiques seqüencials de l'activitat. Hi ha diversos mètodes d'entrenament per aconseguir aquests objectius.

La preparació física

Evidentment, una millor condició físi-

ca ajornarà l'aparició del cansament. L'entrenament ha d'orientar-se fonamentalment al treball de la resistència i de la mobilitat articular.

La preparació psicològica

L'objectiu fonamental és el control motor. L'esportista pot utilitzar diferents mètodes per obtenir els objectius operatius següents:

- Desenvolupar la resistència de la concentració de l'activitat.
- Reconèixer l'estat de l'aparell lo-

comotriu (tècniques de relaxament, sofrologia, etc.). Aquest objectiu podria aconseguir-se amb els passos metodològics següents:

- L'individu reconeix el to muscular.
 - Control diferenciat del to i de la contracció de cada múscul.
 - Sincronització òptima entre agonistes i antagonistes.
- "En aquest pas s'introduiria una preparació específica: entrenar els tres passos anteriors en diferents graus de fatiga".

- Administració de l'esforç. La racionalització de l'esforç seria un component tàctic.

La preparació tècnica

L'objectiu és entrenar nous gestos biomecànics adaptats específicament a cada grau de fatiga. D'aquesta manera la reserva d'habilitats i estereotips motrius augmenta.

Se sap bastant sobre els factors limitants i la preparació de l'individu per realitzar una activitat en fases inicials i utòpiques. Però hi ha una llacuna del coneixement important en l'entrenament per a les adaptacions progressives a l'esforç físic. Aquest dèficit s'acusa fonamentalment en la preparació psicològica i tècnica. Em sembla molt interessant l'estudi biomecànic d'aquests tipus d'adaptacions.



BIBLIOGRAFIA

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.

DENOTH, J.; NIGG, B., "The influence of various sport floors on the load on the lower extremities", *Biomechanics VII-B P.V.N.*, Varsòvia, 1982.

FOMINAYA, J.; OROZCO, M.M., "Efectos psicossomáticos 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*, Paidós, 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 de l'entrenament esportiu: fatiga i sobreentrenament", *Apunts*, 24, pp. 71-80, 1987.

SEIRULLO, F., "La técnica y su entrenamiento", *Apunts*, 24, pp. 189-199, 1987.