

Economia en una cursa de resistència

PEDRO ÀNGEL LATORRE ROMÁN
 Doctorat del Departament
 d'Educació Física
 Universitat de Granada
 Professor d'educació secundària
 IES Sabiote

VÍCTOR MANUEL SOTO HERMOSO
 Facultat de Ciències de
 l'Actividad Física i l'Esport
 Universitat de Granada

CORRESPONDÈNCIA:
 C/ Forjadores, 13
 Úbeda (Jaén)
 23400

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2000; 134: 25-35

RESUM. Un del més importants indicadors del rendiment en una cursa de resistència és l'economia energètica, màxima expressió de l'allunyament de la fatiga. En l'economia energètica s'hi troben implicats un seguit de factors intrínsecs i extrínsecs a l'atleta, entre els quals destaquen aspectes biomecànics, fisiològics, antropomètrics, ambientals, materials i d'entrenament. Les dades obtingudes dels diversos estudis ofereixen resultats contradictoris en relació amb: el tipus d'entrenament i el sexe. Tanmateix, altres resultats són més objectius; així, es coneixen les característiques cinemàtiques d'un atleta econòmic. A més a més, els factors externs que poden afectar a l'estalvi energètic es troben perfectament descrits. Els estudis fisiològics han mostrat una variació entre el consum d'energia corrent a un velocitat concreta, podent formar part d'aquesta variació les diferències en la mecànica de la cursa. Molts d'aquests estudis tenen limitacions inherents al mètode experimental emprat en relació amb: l'anàlisi 2D o 3D, l'ús del tapis rodant, la velocitat específica de carrera, el tipus de població o les variables escollides; tot això suposa problemes de generalització. És necessari realitzar més estudis tenint en compte altres factors com: l'estat d'entrenament, la fatiga, la velocitat de cursa, la força i la flexibilitat del subjectes, el sexe, l'estructura corporal, etc.

PARAULES CLAU: Cost energètic, consum d'oxigen, càrrega submàxima, exercici físic.

SUMMARY. One of the main performance indicators in the endurance race is the energetic economy, the maximum expression of fatigue postponement. In energetic economy, a series of intrinsic and extrinsic factors to the athlete are involved, of which biomechanical, physiological, psychological anthropometrical, environmental, material and training factors stand out.

The data obtained from various studies offer contradictory results in relation to the kind of training and the sex. However, other results are more objective, the cinematic characteristics of an economic athlete are known, and those external factors that can affect energy saving are thoroughly described.

Physiological studies show variation in energy consumption when running at a certain speed. Part of this variability could be due to the difference in the race's mechanics. Many of these studies have limitations inherent to the applied experimental method in relation to: 2D or 3D analysis, the use of treadmill, the race's specific speed, the kind of population, or the selected variables; all this involves generalization problems.

It is necessary to work on other studies taking into account other factors, such as training state, fatigue, speed power and flexibility of the subject, sex and body structure.

KEY WORDS: Energy cost, oxygen uptake, submaximal load, fisik exercise.

I. INTRODUCCIO

El rendiment esportiu ve determinat per nombrosos factors que, a més a més, dels condicionants genètics, es constitueixen en aquells components bàsics de l'entrenament esportiu: preparació física, tècnica, tàctica, psicològica, entrenament invisible, etc. Els estudis sobre el rendiment físic-esportiu humà s'han basat principalment en aquestes línies de treball.

La pràctica de la cursa de fons es troba molt consolidada a la societat actual en relació amb tres nivells bàsics: afecionat, competitiu i d'alt rendiment. El seu estudi és essencial per assolir els objectius implicats en cadascun dels nivells anteriors, ja sigui d'entreteniment-salut o rendiment i èxit esportiu respectivament.

El rendiment en la cursa de resistència es troba influït per nombrosos factors i condicionants que poden dividir fonamentalment en quatre grans blocs:

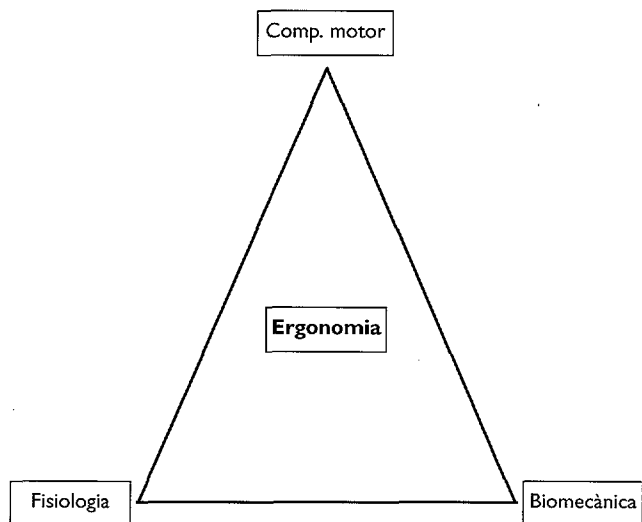
- Factors biomecànics
- Factors tàctics
- Factors fisiològics
- Factors psicològics

En relació amb els factors biomecànics, García i cols. (1996)¹, fan referència a les característiques mecàniques de la tècnica de cursa en relació amb angulacions segmentàries i articulars, freqüència i amplitud de moviments, velocitat de carrera, etc.; tot això en íntima relació amb l'economia de moviments. En aquest apartat també entrarien en consideració les diferències per edat i sexe, tipus de material esportiu utilitzat, nivell d'entrenament, etc. Els factors tàctics fan referència a l'adient dosificació de l'esforç que permeti a l'atleta obtenir el màxim rendiment. En relació amb els factors fisiològics, Navarro (1998)² considera aspectes condicionants com: l'aparell cardiocirculatori, metabolisme energètic, regulació hormonal i sistema muscular. Per últim, es suggereix moltes vegades que els factors psicològics aconsegueixen un paper important en la consecució de rendiments extraordinaris en esports de resistència; aquestes consideracions moltes vegades són fruit de registres anecdòtics d'esportistes, entrenadors, etc.³ Tanmateix, sembla ser que les demandes de rendiment de cada especialitat esportiva requereixen que l'esportista funcioni psicològicament d'una manera concreta per poder decidir i actuar amb la més gran eficàcia possible i assolir l'èxit en la competició; així, un corredor de fons que controlï els seus pensaments i sensacions de fatiga serà capaç

de reservar el seu esforç en els moments crítics de la carrera; per tant, sembla ser que el funcionament psicològic pot influir de forma positiva o negativa en el funcionament físic, tècnic i tàctic de l'esportista⁴. Tanmateix, O'Connor (a Shephard i col., 1996)³, considera que hi ha poques proves científiques de documentin l'impacte positiu de les intervencions psicològiques sobre el rendiment físic dels atletes. El que sí sembla ser cert és que els corredors de fons tenen una tolerància vers el dolor més gran que la població normal o que la resta de la població esportiva³.

Resumint, Gutiérrez (1998)⁵ considera que l'anàlisi i l'estudi del moviment esportiu es realitza bàsicament a través de tres perspectives: fisiològica, biomecànica i de comportament motor, concretades i relacionades a la figura 1. Així, des d'una anàlisi multidisciplinària de l'estudi de la cursa de resistència, tindríem com a nucli bàsic l'ergonomia, perspectiva que inclou la major part dels paràmetres rellevants en els gests de la cursa.

Figura 1 Perspectives bàsiques que estudien el moviment humà (adaptat de Gutiérrez, 1998).⁵



2. FATIGA I ECONOMIA DE LA CURSA

Analizant els anteriors plantejaments podem dir que la cursa de resistència té com objectiu postergar al màxim l'aparició de la fatiga, que en darrera instància serà la que canviï tots aquells factors físics, psíquics i tècnics que determinen la prestació esportiva. La fatiga produeix alteracions objectives dels paràmetres d'execució d'una activitat motora; així, Platonov, citat per Gusi (1991)⁶, considera que la fatiga és el

principal factor de perturbació de l'estabilitat de les accions motrius, fins el punt que fins i tot els esportistes d'alt nivell són incapaços de mantenir una estabilitat motriu.

De l'anàlisi de la literatura especialitzada sobre treballs que analitzen les perspectives anteriors, han estat diversos els estudis que han intentat aclarir les relacions entre la fatiga i les alteracions mecàniques i tècniques de la cursa de resistència;^{7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17} gairebé tots ells s'han centrat en relacionar l'economia i la mecànica de la cursa. Les relacions entre la mecànica i l'economia de cursa sembla que existeixen, però actualment hi ha moltes incògnites per tal d'aclarir la naturalesa exacta d'aquesta relació. Williams (1990)⁷, descriu que la major part dels estudis fisiològics han mostrat una àmplia variació en el consum d'energia submàxima quan es corre a una velocitat concreta, formant part d'aquesta variabilitat deguda a diferències en la mecànica de la carrera.

Donskoi i Zatsiorski (1988)¹⁹ i Gusi (1991)⁶ manifesten que durant l'activitat muscular, la fatiga es manifesta de dues maneres:

- a) *Fase de fatiga compensada o latent*, també denominada per Platonov (1991)²⁰ cansament ocult; en aquest tipus de fatiga, tot i incrementar-se les dificultats motrius, l'esportista manté la intensitat d'execució de la tasca, la velocitat de la cursa es manté al preu d'un menor estalvi energètic i, en conseqüència, d'una deficient coordinació muscular amb variacions en la tècnica dels moviments.
- b) *Fatiga compensada o evident* en la qual l'esportista no pot mantenir els nivells d'intensitat de treball necessaris per a l'activitat motora.

Els canvis originats per la fatiga requereixen la utilització de nous estereotips motors adaptats als recursos disponibles per l'organisme a cada moment⁶. Siler i Martin (1991)¹⁰ van descriure que els corredors realitzaven compensacions dels models de cursa quan s'aprovaven a la fatiga, essent alguns individus més susceptibles que altres a la fatiga, tal com ho reflecteixen les compensacions extremes dels models de cursa.

Donskoi i Zatsiorski (1988)¹⁹ manifesten que des d'un punt de vista biomecànic existeixen dues maneres de millorar l'economia de la cursa i així reduir la fatiga:

- Disminuint les magnituds de les despeses energètiques en cada cicle de moviment.
- Recuperant l'energia, és a dir, transformant l'energia cinètica en potencial i viceversa.

Pel que fa a la primera forma de millorar l'economia de la cursa, existeixen diverses formes d'expressar-la: així es podria augmentar l'economia eliminant els moviments superflus (eliminant l'oscil·lació vertical exagerada del CG), eliminant les contraccions musculars innecessàries (en els esportistes d'alt nivell el temps total de participació muscular és menor, per tant, el temps de relaxació es més gran), disminuint les resistències externes, disminuint les oscil·lacions de velocitat dintre de cada cicle de moviment (l'augment de velocitat després de la seva disminució exigeix una despesa energètica) i, per últim, escollint l'òptima relació entre freqüència i amplitud de passa. En relació amb la segona alternativa, l'energia cinètica del moviment durant la cursa es transforma en energia potencial de deformació elàstica de la musculatura que més tard serà reutilitzada en energia cinètica per desplaçar el CG, la qual cosa suposaria una recuperació o "reciclatge" d'energia¹⁹. A més a més, Gusi (1991)⁶ considera que una de les principals formes d'economitzar energia es basa en l'automatització de les accions motrius, al lliberar parcialment el sistema nerviós.

La precisió amb que l'home aconsegueix ajustar els seus moviments per minimitzar la despesa metabòlica associada a la velocitat de desplaçament és encara poc coneguda; per tant, per la impossibilitat de relacionar els paràmetres biomecànics registrats amb la despesa metabòlica, les aportacions de la biomecànica han quedat limitades a camps de més fàcil accés com: el dissenys del calçat esportiu, sols sintètics, descripció de tècniques de cursa (fins i tot amb importants limitacions interpretatives)²¹, etc.

3. FACTORS DETERMINANTS DE L'ECONOMIA DE LA CURSA

La relació entre mecànica i economia de la cursa es veu influïda per nombrosos factors entre els quals destaquem: la massa corporal i la seva distribució, la velocitat de moviment, la longitud i freqüència de pas, la flexibilitat muscular, l'edat, el sexe, la habilitat, les variables anatòmiques, el nivell d'entrenament, el tipus de contracció muscular, etc.^{22, 1, 19, 23, 24} Molts d'aquests factors els resumim a la taula I. Tots ells es relacionen íntimament amb el principal element perturbador de la cinemàtica de la carrera, la fatiga, que produirà variacions del patró de moviment i de l'estabilitat tècnica en el decurs de les accions motrius.^{6, 19, 21} L'economia de la cursa podria ser un element d'adaptació a l'entrenament i element d'aplaçament de la fatiga. En aquest senti, Michailov citat per Ballesteros (1990)²⁵, considera que la característica fona-

Taula I Interaccions de l'entrenament sobre l'economia de la cursa (Vuorimaa, 1991)

Característiques de l'entrenament	ACCIO
Gran volum de quilòmetres	NEGATIU
Entrenament puntual a elevada intensitat	NEGATIU
Entrenament de força màxima	NEGATIU
Tècnica de cursa	POSITIU
Entrenament de força de càrregues mitges	POSITIU
Entrenament d'elasticitat	POSITIU
Condicionament muscular	POSITIU

mental de la tècnica en les curses de resistència és l'economia funcional, és a dir, l'habilitat de córrer una distància amb una despesa mínima d'energia. No queda clar si és adient o no la variació de la tècnica dels moviments quan apareix la fatiga, ja que les alteracions dels moviments poden ser provocades per la fatiga o com a resposta d'adaptació; per tant, l'augment de l'estabilitat de la tècnica de la cursa en relació amb la fatiga és una de les tasques més importants dels esports i es pot aconseguir mitjançant un entrenament perllongat, fins i tot en situacions d'esgotament¹⁹. Analitzant alguns dels anteriors factors determinants de l'economia de la cursa descrits a la taula I, podem esbrinar les seves característiques més importants.

En relació amb la capacitat de relaxació de l'esportista i la seva influència en l'economia de la cursa, una intervenció psico-fisiològica, mitjançant l'entrenament en relaxació i biofeedback pot disminuir el consum d'oxigen màxim en una cursa en tapis rodant al 70% de la VO_2 màx.; així ho van demostrar Caird i cols. (1999)²⁶, obtenint disminucions en un 7,3%, 2,5% i 9,2% de la freqüència cardíaca, de la ventilació i de la concentració de lactat respectivament.

Tenint en compte els aspectes antropomètrics, Anderson (1996)²⁴ considera que una variació en les dimensions antropomètriques podria influir en l'efectivitat biomecànica. Aquests aspectes inclouen: alçada, menor percentatge de grassa, pelvis estreta, peus petits i una morfologia de la cama que distribueix més massa a prop dels malucs.

En relació amb l'edat, els nens malgrat el seu gran potencial aeròbic, posseeixen una menor economia gestual a conseqüència d'una menor eficiència mecànica, pel que presenten un menor cost metabòlic durant l'esforç²⁷; a això s'hi afegeixen certs problemes en la termoregulació sobretot en ambients extrems²⁸. Kraenbuhl i Williams (1992)²⁹ van compro-

var que els nens eren menys econòmics que els adults i per tant presentaven un major equivalent ventilador d'oxigen i unes proporcions de passa més desavantajoses, i que milloraven l'economia de la cursa amb l'edat fins i tot sense entrenament.

En relació amb el sexe, tant Bhambhani i Singh (1985)³⁰ com Morgan i cols. (1989),³¹ consideren que les despeses metabòliques netes a velocitats submàximes són més importants en les dones que en els homes. Al mateix temps, Hegeud citat per García i cols. (1996)¹ descriu que a velocitats submàximes, les diferències en l'economia de la cursa intersexes no són importants, però a altes velocitats, els homes són clarament més econòmics que les dones. Thomas i cols. (1999)³² van sotmetre a 21 homes i a 19 dones a una prova de 5 km, en tapis rodant a una intensitat del 80-85% del VO_2 màx. Es van prendre mitges de lactat, freqüència cardíaca, temperatura corporal, ventilació i VO_2 màx. als 5 minuts de la prova i a l'últim minut; tots els paràmetres fisiològics anteriors van augmentar significativament, essent aquests canvis similars en ambdós sexes. En un altre estudi, Atwater (1990)³³ va comprovar que els paràmetres cinemàtics de la passa i les seves proporcions (temps de recolzament i vol) diferien entre homes i dones quan s'expressaven en percentatges absoluts; així, generalment, els homes, per la seva major alçada, tenen una major longitud de passa i unes proporcions de passa menors al córrer a una velocitat concreta, però quan aquestes comparacions es realitzen en relació amb les característiques estructurals, no apareixen evidències que demostrin variacions en la cinemàtica degudes al sexe. Williams (1990)⁷, afirma que existeixen diferències evidents entre homes i dones pel que fa al VO_2 màx. i que els factors biomecànics poden influir, però no existeix encara una àmplia informació per recolzar aquesta hipòtesis. Així ho confirmen Morgan i cols. (1989)³¹, els quals consideren que encara que existeixen dades d'alguns estudis que ofereixen avantatges en economia de cursa en els homes, la majoria de les evidències no recolzen la diferència de gènere.

El tipus d'entrenament també sembla afectar a l'economia de la cursa encara que la bibliografia aporta resultats contradictoris; així, Costill i Fox (1969)³⁴ i Lake i Cavanagh (1996)³⁵, afirmen que l'economia de la cursa no es modifica amb l'entrenament. Tanmateix, Conley i cols. (1981)³⁶, Legros i cols. (1992)³⁷ i Rodas i cols. (1989)³⁸, manifesten clares diferències. En un estudi realitzat sobre parelles de bessons esportistes, Rodas i cols. (1981)³⁸ van trobar que després de sis mesos d'entrenament s'havien trobat diferències en l'economia de la cursa. Conley i cols. (1981)³⁶ van trobar millores

en l'economia de la cursa i en el poder aeròbic durant un entrenament atlètic de 18 setmanes basat en entrenaments intervàlics; amb això, es va millorar l'economia de la cursa a una velocitat concreta d'un 83,5% a un 71,5% del VO_2 màx. A més a més, Vuorimaa (1991)³⁹ considera que l'economia de la cursa dependrà del tipus d'entrenament realitzat. Aquest autor expressa a la taula I les interaccions de diferents tipus d'entrenament sobre l'economia de la cursa. Per últim, Messier i Cirillo (1989)⁴⁰ van poder comprovar que entrenant a dones corredores principiants amb retroinformació visual i verbal, podien modificar el seu poc acurat estil de córrer, encara que el vincle entre les modificacions de l'estil de cursa i les millores en economia i en l'exercici era incert.

Tenint en compte el tipus de qualitat física predominant, Konskoi i Zatsiorski (1988)¹⁹, consideren que en els esportistes cíclics amb predomini de les qualitats motores, el resultat esportiu no és un clar indicador de l'efectivitat de la tècnica. En aquest sentit, els indicadors d'economia o eficàcia no poden analitzar-se com indicadors de domini tècnic, sinó que són altres indicadors complexos que depenen tant de l'eficàcia tècnica com de les possibilitats funcionals dels esportistes; així, en les curses de llarga distància, els esportistes de diferent nivell poden tenir les mateixes possibilitats funcionals. En aquest sentit, Conley i cols. (1981)³⁶ van estudiar un grup de 12 corredors de 10.000 metres amb marques entre 30 i 33 minuts, trobant que un corredor amb un dels consums d'oxigen més baixos tenia una de les millors marques. Per tant, el VO_2 màx. no pot considerar-se l'únic element de discussió del resultat del rendiment esportiu. En aquest sentit, a la taula II, Donskoi i Zatsiorski (1988)¹⁹ expressen les possibilitats funcionals i els indicadors biomecànics d'esportistes amb una tècnica de cursa efectiva i no efectiva en una distància de 5.000 metres.

Per altra banda, les despeses metabòliques d'energia es veuen clarament influïdes pel que fa al poder mecànic per acontereixements que impliquen el cicle escurçament-estirament dels múscles de l'extremitat inferior durant la cursa.⁴¹

^{42, 43} Així, totes aquelles accions musculars en les que intervingui el cicle escurçament-estirament i, per tant, els components elàstics de la musculatura manifesten economia metabòlica.^{1, 19, 25, 45, 23} Tanmateix, Van-Ingen i cols. (1997)⁴⁶ consideren que l'energia elàstica no pot afectar a l'eficàcia mecànica ja que aquesta energia no es relaciona amb la conversió d'energia metabòlica en mecànica, aspecte pel qual encara no hi ha evidències per afirmar o desmentir el reforç en l'eficàcia del múscul que té el cicle escurçament-estirament. El que sí sembla existir és una variància considerable entre els individus que gaudeixen una notable habilitat per utilitzar l'energia elàstica, el que explicaria les diferències de despeses metabòliques d'individus corrent a una velocitat concreta.^{41, 7} Per altra part, Voget i cols. citats per Van Gheluwe i Madsen (1997)¹⁷, van suggerir que la fatiga del corredor pot arribar a modificar la fase d'aterratge degut als canvis de preactivació de la musculatura, amb la qual cosa es modificarien molts dels paràmetres cinemàtics; a més a més, la transferència d'energia excèntrica i concèntrica es veuria dràsticament minvada durant la fatiga muscular.

En relació amb l'oscil·lació vertical del CG (centre de gravetat), la majoria dels investigadors coincideixen en afirmar que es produeix un moviment sinusoidal del centre tant en el pla sagital com frontal. Osterhoudt, citat per Sánchez i cols. (1996)⁴⁷, considera que l'increment de la velocitat es tradueix en una disminució de l'alçada del CG entre el moment del contacte i el d'enlairament. En un altre sentit, l'excessiva oscil·lació del CG es relaciona contràriament amb el VO_2 màx.; així, entre un grup de subjectes corrent a la mateixa velocitat, existeix un alt grau de variància en relació amb l'oscil·lació vertical del Cg. Tanmateix, sembla ser, que per a molts individus és possible córrer econòmicament malgrat realitzar una oscil·lació relativament alta del CG. Així, la ineficàcia d'una gran oscil·lació del CG pot veure's compensada per altres aspectes cinemàtics eficients. A més a més, l'oscil·lació vertical del CG, pot variar segons la cama de recolzament.²¹

Taula II

Paràmetres funcionals i biomecànics implicats en l'efectivitat tècnica (Modificat de Donskoi i Zatsiorski, 1988)¹⁹

Efectivitat tècnica	Marca	Índex de massa corporal	VO_2 en ml/kg m	Amplitud de passa	Nombre de passes	Augment del CG	Treballa per a l'augment del CG en kgm
Mala	16'30"	20.13	67.9	1.60	3125	10	17968
Buena	14'52"	19.56	68.4	1.77	2825	6	9407

En relació amb els paràmetres de la passa, es produeix un increment lineal relativament ampli de la longitud de la passa quan les velocitats són baixes (3,5 a 6,5 m/seg), augmentant la freqüència de la passa de forma corbalfina a mesura que s'incrementa la velocitat.⁴⁷ La disminució del temps de passa es deu sobretot a un menor temps de recolzament i a un temps de vol lleugerament més alt que els pitjors corredors. Així, Sánchez i cols. (1996)⁴⁷, consideren que un tema important d'investigació seria esbrinar la relació de temps entre diverses fases de recolzament en funció de diferents velocitats de cursa. A més a més, existeix una relació entre la longitud de passa i la despesa energètica: aquesta augmenta amb l'increment de la passa.¹ Cavanagh i Williams (1982)⁴⁸ van demostrar que la longitud de la passa en 10 subjectes entrenats era econòmica quan es triava lliurement. Kaneko i cols. (1987)⁴⁴ van trobar que el consum d'energia era moderat quan es corria a freqüències de passa diferents mentre es mantenien constants els tres tipus de velocitat plantejada 2,5, 3,5 i 4,5 m/seg. Tanmateix, es va produir un estalvi d'energia pels tres tipus de velocitats amb la mateixa longitud de passa. Hogberg citat per Williams (1990)⁷, va trobar que increments i disminucions de la longitud de la passa produïen un increment de la despesa energètica. Aquest mateix autor i Knuttgen citat per Williams (1990)⁷, van trobar també que a diverses velocitats, una passa més llarga produïa unes despeses energètiques majors que una passa més curta, totes elles diferents a l'escollida lliurement. Williams i Cavanagh (1986)⁸, van trobar una correlació de 0,47 entre la longitud de la passa i el VO₂màx., però sembla ser que aquesta correlació estava més vinculada amb la mida del cos. Així, en estudis posteriors, Williams i Cavanagh (1987)⁹, van trobar una correlació més baixa entre ambdós paràmetres. Resumint, sembla ser que existeix una longitud de passa òptima i econòmica per a cada velocitat de desplaçament i per a cada corredor; així, per a una velocitat concreta, qualsevol variació de la passa òptima repercuteix negativament en el cost metabòlic. A més a més, Williams i Cavanagh (1986)⁸, en un estudi amb atletes masculins, van contrastar que el consum d'oxigen era menor quan major era el temps de recolzament, major era l'angle de la cuixa amb la vertical durant l'extensió del maluc, menor era l'extensió del genoll i, per últim, hi havia una velocitat de flexió plantar menor. En un altre estudi amb dones corredores d'elit, Williams i cols. (1987)⁴⁹ van trobar que una millor economia estava vinculada amb una menor extensió de la cuixa i amb una velocitat d'extensió més lenta, menor velocitat de flexió durant el balanceig i, per últim, amb una dorsiflexió major i una major velocitat d'a-

questa durant el recolzament. Per tant, amb la fatiga, els mecanismes articulars pateixen una variació. La variació de les amplituds articulars implica alteracions en els recorreguts articulars i en els angles d'eficàcia de cada moviment, minvant, al mateix temps, les possibilitats d'utilització del component elàstic.⁶ En general, en alternar-se els patrons de moviment, per mantenir la velocitat de desplaçament s'ha d'allargar la passa.²¹ Tanmateix, costa menys energia escurçar la passa i augmentar la seva freqüència per mantenir una velocitat constant de cursa.⁵⁰





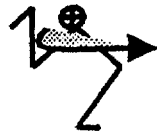

En relació amb la intensitat de la carrera, FengDunshou (1994)⁵¹ va estudiar la tècnica de cursa de Wang Junxia quan va batre el rècord mundial de 10.000 m femenins, realitzen una sorprenent marca de 29'31"78. Els resultats del seu estudi van indicar que aquesta atleta mantenia una velocitat mitja de 5,5 m/seg, durant els primers 7 km i que, més tard, va anar incrementant fins 6,28 m/seg. La seva longitud de passa durant els primers 7 km era de 1,52 m i va anar augmentant fins 1,72 m al final de la prova, essent la freqüència de la passa força estable al llarg de tota la competició, uns 3,7 passos per segon. L'oscil·lació del CG era aproximadament de 7 cm. Resumint, a partir dels 7 km, aquesta atleta va millorar l'amplitud dels seus moviments i, per tant, la velocitat de cursa, creant noves condicions tècniques per a una acceleració eficient. Price (1994)⁵² va analitzar en nou corredors la relació entre paràmetres biomecànics (freqüència i longitud de passa, temps de passa i % de recolzament) i fisiològics (VO₂, freqüència cardíaca i lactatèmia), al llarg de dues curses en tapis rodant, una a ritme còmode i altre a un ritme de competició; els resultats van indicar que la longitud i la freqüència de la passa van augmentar al mateix temps que es va incrementar la intensitat necessària; el tant per cent de recolzament i el temps de passa va minvar a l'augmentar la intensitat de la cursa i, per últim, a mesura que augmentava la intensitat també augmentaven de forma clara les variables fisiològiques analitzades i l'eficàcia va minvar amb un increment de la passa. Williams i Cavanagh (1987)⁹ concreten en la taula III les conseqüències mecàniques més importants relacionades amb la intensitat de la cursa.

En relació amb els moviments de la part posterior del peu, Van Gheluwe i Madsenw (1997)¹⁷ van trobar que l'esgotament no influïa substancialment en el var tibial excepte en el recolzament inicial del peu a terra. Tanmateix, l'eversió i la pronació subtalar del peu va augmentar, no influint l'augment de la passa en aquests paràmetres. També Hamill i Bates (1988)¹² van trobar augments de l'eversió del peu en una cursa al 90% del VO₂màx. Per altra part, els braços pro-

porcionen impuls i ajuden al corredor a mantenir una velocitat horitzontal més constant, jugant, a més a més, un important paper en l'equilibri de la velocitat angular aconseguida.⁷ Hinrichs i col. (1987)⁵³ van observar que no existia cap avantatge mecànic evident en el clàssic estil del balanceig dels braços directament endavant i endarrere, enfront de l'estil que la majoria de corredors de fons adopten, en permetre el creuament dels braços lleugerament per davant del cos.

A més a més, existeixen altres tipus de factors externs que poden afectar a la cinemàtica i a l'economia de la cursa; ens referim a la resistència aerodinàmica, la fricció, el tipus de superfície, el tipus de calçat, etc. Bonen i col. Citats per Williams (1990)⁷, no van trobar diferències en el VO_2 màx, en cursa sobre tapís rodant, en superfície de ciment, de carbonet o tartan. Per altra banda, Davies citat per Mcardle i cols. (1990)⁵⁰, considerava que la cursa en contra del vent podia

Taula III Interacció de paràmetres biomecànics amb l'economia energètica (adaptat de Williams i Cavanagh, 1987)

PARÀMETRES	INTENSITAT DE CURSA			GRÀFIC
	VO_2 ↓	VO_2 ↑	VO_2 ↑↑	
Angle de la tibia amb la perpendicular a l'articulació del genoll	8.2°	8.3°	5.5°	
Inclinació del tronc en relació amb la perpendicular al terra	5.9°	3.3°	2.4°	
Flexió màxima del genoll en la fase de sosteniment	43.1°	41.9°	39.4°	
Flexió plantar del peu	73.8°	68.3°	67.4°	
Velocitat de recuperació de la cama que finalitza l'impuls	99.4	106.7	116.3	
Variació vertical del centre de gravetat	9.1 cm	9.3 cm	9.6 cm	

suposar un augment del cost energètic proporcional a la velocitat del vent al quadrat. Si un corredor corre immediatament al darrera d'un altre, l'àrea de resistència aerodinàmica disminuirà un 80% reduint-se al mateix temps en un 6% la despesa energètica (Pugh, citat per Williams, 1990)⁷. En relació amb el tipus de calçat, Rodano (1990)⁵⁴ considera que a les competicions de fons, el 75% dels atletes tenen una modalitat de recolzament segons la qual impacten en el terra amb el taló i el 25% restant ho fan amb el mesopeu. Aquesta dada ha portat als fabricants a tenir cura dels materials de la part posterior del calçat; a més a més, segons aquest mateix autor, durant la fase d'impuls, el retropeu realitza mitjançant els seus moviments en el pla frontal, una funció essencial en el control del recolzament. Així, s'ha demostrat que amplituds massa elevades d'aquests moviments són el detonant de problemes al tendó d'Aquiles i al genoll; donat que aquests moviments depenen de les característiques físiques dels atletes, s'han introduït coixinets i reforços aptes per limitar l'estrès secundari de la prono supinació. A més a més, Morgan i cols. (1996)⁵ consideren que portant el calçat atlètic elàstic i de sola fina, es pot reduir el VO₂ possiblement gràcies a un emmagatzemen d'energia elàstica al tendó d'Aquiles i a l'arc longitudinal del peu. En aquest sentit, Ramiro i cols. (1992)⁵⁶ consideren que no només el pes condiciona un major consum d'oxigen durant la cursa, altres aspectes com la capacitat de protecció a impactes o el control de moviments estan directament o indirecta relacionats amb el rendiment en la locomoció. Tanmateix, encara molts fabricants sacrifiquen els elements de control dels moviments a favor d'una disminució del pes del calçat. En un estudi realitzat per aquests autors sobre la influència del pes, les característiques d'amortiment i el control de moviment de diversos models de calçat en el VO₂ màx., van establir com a conclusions l'existència més consistent d'una relació entre un pes menor i un VO₂ més baix, però no d'una relació amb els altres dos paràmetres analitzats. Tanmateix, aquest estudi presentava bastants restriccions relacionades amb la velocitat individual de cada atleta i la superfície de carrera. Sembla ser que un calçat més lleuger pot suposar un estalvi d'un 1,3% en el consum d'oxigen i que en una cursa de 10.000 m pot suposar un estalvi de 0,6 ml/kg.⁵⁶ En relació amb el pes afegit, Frederick (1985)⁵⁷ considera que cada 100 gr de pes afegit al calçat de cada peu pot augmentar les demandes aeròbiques aproximadament en un 1%. Martín, citat per Williams (1990)⁷ va comprovar augments d'un 3,5% i un 7,2% del VO₂ màx. per cada 0,5 kg de pes afegit a cada muscle i a cada peu respectivament, així com increments del treball mecà-

nic i variacions de certs paràmetres del segment sobrecarregat. Per últim, Cureton i Sparling, citats per Williams (1990)⁷ van comprovar increments del 0,16 L.min⁻¹ del consum d'oxigen quan s'afegien pes al tronc d'un 7,5% del pes corporal.

L'economia de la cursa és, per tant, un dels factors més importants del rendiment dels corredors de fons i és possible que canvis en l'economia de la cursa a una determinada velocitat portin associats canvis en el rendiment. Els estudis fisiològics han mostrat una àmplia variació entre el consum d'energia submàxima corrent a una determinada velocitat, podent formar part d'aquesta variància les diferències en la mecànica de la cursa. Molts d'aquests estudis tenen limitacions inherents al mètode experimental utilitzat, tot relacionat amb: l'ús d'anàlisis 2D o 3D, l'ús del tapis rodant enfront a la cursa per terra, la influència de la velocitat específica de cursa, el tipus de població o el joc de variables escollides. Tot això suposa problemes per poder generalitzar. És necessari fer més estudis al respecte, tenint en compte, a més a més, altres factors importants com: l'estat d'entrenament, la fatiga, la velocitat de cursa, la força i la flexibilitat dels subjectes, l'estructura del cos, etc.

L'economia de la cursa sempre s'ha valorat mitjançant mesures fisiològiques de laboratori, essent el paràmetre més emprat i ajustat a aquest concepte el VO₂ màx. En estudis de camp, per la dificultat de monitorització dinàmica i per les possibles influències en els paràmetres cinemàtics d'un pes afegit per poder valorar el VO₂ màx., s'han utilitzat altres variables fisiològiques com la freqüència cardíaca, la temperatura corporal i la percepció subjectiva de l'esforç. El VO₂ màx. té relació lineal amb la freqüència cardíaca; quan aquesta augmenta, augmentarà el VO₂ màx. En un entrenament intervàlic, amb les successives repeticions i per l'efecte acumulat de la fatiga, augmenta la freqüència cardíaca i, per tant, el VO₂ màx. La freqüència cardíaca evoluciona de forma lineal en relació amb la intensitat de l'exercici, mentre que l'energia aportada sigui principalment del sistema aeròbic.⁵⁸ Així podem extrapolar els valors de VO₂ de cada intensitat d'exercici amb la seva corresponent freqüència cardíaca.^{1,50,59} Aquesta relació, sense ser exacta, ens permet apropar, amb certa fiabilitat, la intensitat de la càrrega,¹ sempre tenint en compte, com afirmen Mcardle i cols. (190)⁵⁰ i Astrand i Rodahl (1985)⁵⁹ que en un subjecte amb baixa eficiència mecànica, es prediu que el consum d'oxigen és menor ja que el transport addicional d'oxigen influeix en la freqüència cardíaca.

Per altra part, l'eficiència mecànica del cos humà es situa al voltant d'un 25%, per la qual cosa, aproximadament un 75%

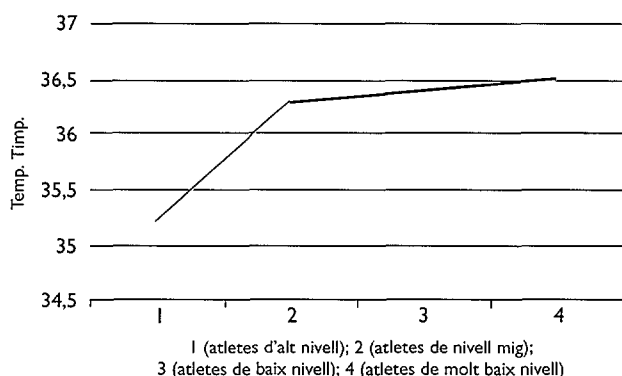
es dissipa en forma de calor: quant més gran és la intensitat de treball, major és la quantitat total de calor produïda. La diferència entre la producció d'energia i la producció de calor és una expressió de l'eficiència mecànica i la diferència entre la producció de calor i la seva pèrdua total és una conseqüència de l'increment de la temperatura.⁵⁹ A velocitats submàximes, la temperatura corporal es manifesta de forma lineal respecte al consum d'oxigen. Per tant, front a un mateix percentatge de VO_2 màx., una persona amb una bona condició física general, genera més energia durant l'exercici i, tanmateix, té la mateixa temperatura corporal.^{59, 50} Pujol (1991)⁶¹ va prendre la temperatura timpànica a varis maratonians de diferent nivell atlètic al finalitzar la Marató de Jerez. Els resultats d'aquest estudi van indicar que els maratonians que realitzaven una millor marca incrementaven menys la seva temperatura timpànica, degut fonamentalment a que els corredors més ràpids acostumen a ser més lleugers de pes i pateixen menys irradiació solar. De totes maneres, en aquest estudi hagués estat interessant compara els models tècnics de cursa en corredors de pes similar i en situacions també similars d'irradiació solar. A la figura 2 s'expressen els resultats d'aquest estudi.

En relació amb la percepció subjectiva de l'esforç, Álvarez (1994)⁶⁰ afirma que els indicadors de percepció subjectiva de l'esforç són vàlids per determinar la intensitat de l'esforç per sobre del llindar anaeròbic. L'escala de percepció subjectiva de l'esforç de Borg citat per Córdova (1998)⁶², està establerta entre 6 a 20 punts; segons diversos autors és possible predir la freqüència cardíaca de l'esforç multiplicant cada valor per 10, fins i tot s'han arribat a obtenir correlacions entre 0,80 i 0,90.⁶²

CONCLUSIONS

Un dels més importants indicadors del rendiment durant la cursa de resistència és l'economia energètica com màxima expressió de l'aplaçament de la fatiga que, en darrer terme, serà la que alteri tots els factors físics, psíquics i tècnics que

Figura II Temperatura timpànica de diferents maratonians durant la marató de Jerez (modificat de Pujol, 1991)⁶¹



determinen el rendiment esportiu. En l'economia energètica, es veuen implicats un seguit de factors intrínsecs i extrínsecs a l'atleta, destacant aspectes biomecànics, fisiològics, psicològics, antropomètrics, ambientals, materials i d'entrenament. Les dades obtingudes dels diversos estudis ofereixen resultats contradictoris en relació amb: el tipus d'entrenament i el sexe. Tanmateix, altres resultats són més objectius; així, es coneixen les característiques cinemàtiques d'un atleta econòmic, a més a més, es els factors externs (ambientals, materials) que poden afectar a l'estalvi energètic estan correctament descrits. Per tant, és possible que canvis en l'economia de la cursa a una determinada velocitat tinguin vinculats canvis en el rendiment. Seria interessant per a futures investigacions analitzar altres paràmetres (l'estat d'entrenament, la fatiga, la velocitat de cursa, la força i la flexibilitat dels subjectes, l'estructura del cos, etc.) que afecten a l'economia de la cursa en atletes de fons a velocitats competitives i en situacions reals d'entrenament. D'aquesta manera es podria comprovar si aquells corredors que presenten un VO_2 màx. molt alt però una pobre economia de funcionament, poden ser més eficients si milloren la seva tècnica de cursa.

Bibliografia

1. GARCÍA, J., NAVARRO, M., RUIZ, J. Bases teóricas del entrenamiento deportivo. Madrid: Gymnos. 1996; 313-322.
2. NAVARRO, F. La resistencia. Madrid: Ed Gymnos. 1998; 43-48.
3. O'CONNOR, J. Aspectos psicológicos del rendimiento de resistencia. En Shepard, R y Astrand, P. La resistencia en el deporte. Barcelona: Paidotribo. 1996; 149-159.
4. BUCETA, J. Psicología del entrenamiento deportivo. Madrid: Dykinson. 1988; 17-18.
5. GUTIÉRREZ, M. Biomecánica deportiva. Madrid. Síntesis. 1998; 15-16.
6. GUSI, N. Efectos biomecánicos de la fatiga. *Apunts Educación Física y Deporte* 1991; 26: 43-50.
7. WILLIAMS, K. R. Relationships between distance running biomechanics and running economy. En, Cavanagh, P.R: Biomechanics of distance running. Champaign: Human Kinetics. 1990; 271-301.
8. WILLIAMS, K.R & CAVANAGH, P. R. Biomechanical correlates with running economy in elite distance. Proceedings of the North American Congress on Biomechanics, combined with. Organizing Committee. 1986; 2: 287-288.
9. WILLIAMS, K.R & CAVANAGH, P. R. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *Journal-of-applied-physiology* 1987; 63(3): 1236-1245.
10. SILER, W & MARTIN, P. Changes in running pattern during a treadmill run to volitional exhaustion: Fast versus slow runners. *International Journal of Sports Biomechanics* 1991; 1: 12-28.
11. ELLIOT, B & ACKLAND, T. Biomechanical effects of fatigue on 10.000 meter running. *Research Quarterly for Exercise and Sports* 1981; 2: 160-166.
12. HAMILL Y BATES Y BATES, J & BATES, B.T. A kinetic evaluation of the effects of in vivo loading on running shoes. *Journal-of-orthopaedic-and-sports-physical-therapy* 1988; 10(2): 47-53.
13. MILGROM, C & COLS. Prevention of overuse injuries of the foot improved shoe shock attenuation: A randomized prospective study. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1992; 281: 189-192.
14. CLARKE, T Y COLS. The effect of varied stride rate upon shank deceleration in running. *Journal of Sports Science* 1985; 3: 41-49.
15. NICOL, C., KOMI, P.V., MARCONNET, P. Effects of marathon fatigue on running kinematics and economy. *Scandinavian-journal-of-medicine-&-science-in-sport* 1991; 1(4): 195-204.
16. SPRAGUE, P & MANN, R. V. Effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Research-quarterly-for-exercise-&-sport* 1983; 54(1): 60-66.
17. ARAKELYAN, E., PRIMAKOV, Y.N., TYUPA, V., UMAROV, A., GUSEYNOV, A. Biomechanical specific of fatigue in 400 meters running. *Teorija-i-praktika-fiziceskoj-kul'tury*. 1997; 7: 42-44.
18. VAN GHELUWE, B & MADSEN, C. Frontal Reafort Kinematics in Running Prior to Volitional Exhaustion. *Journal of Applied Biomechanics* 1997; 13: 66-75.
19. DONSKOI, D Y ZATSORSKI, V. Biomecánica de los ejercicios físicos. Moscú: Raduga. 1988; 57-294.
20. PLATONOV, V. La adaptación al deporte. Barcelona: Paidotribo. 1991; 157-167.
21. VERA, P Y HOYOS, J. Biomecánica de la carrera de fondo. En Plata, F, Terrados, N., Vera; P. El maratón. Aspectos técnicos y científicos. Madrid. Alianza Deporte. 1994; 101-141.
22. MARTIN, P. E & MORGAN, D.W. Biomechanical considerations for economical walking and running. *Medicine-and-science-in-sports-and-exercise* 1992; 24(4):467-474.
23. FREDERICK, E. Limitaciones mecánicas al rendimiento humano. En Shepard, R y Astrand, P. La resistencia en el deporte. Barcelona: Paidotribo. 1996; 173-180.
24. ANDERSON, T. Biomechanics and running economy. *Sports-medicine* 1996; 22(2): 76-89.
25. BALLESTEROS, J. Carreras de medio fondo y fondo. En Bravo y cols. Atletismo: carreras y marcha. Madrid: Comité olímpico español, 1990; 79-166.
26. CAIRD, J., MCKENZIE, D., SLEIVERT, G. Biofeedback and relaxation techniques improve running economy in sub-elite long distance runners. *Medicine-and-science-in-sports-and-exercise* 1999; 31(5): 717-722.
27. GUTIERREZ, A. Características fisiológicas del niño ante el ejercicio: repuestas y adaptaciones. En Mora. Teoría del entrenamiento y acondicionamiento físico. Cádiz: COPLEF. 1995; 256-257
28. DELGADO, M. Fundamentación anatómica y funcional del rendimiento y del entrenamiento de la resistencia del niño y del adolescente. *Motricidad* 1995; 1: 97-110.
29. KRAENBUHL, G & WILLIAMS, T. Running economy: changes with age during childhood and adolescence. *Medicine-and-science-in-sports-and-exercise* 1992; 24(4): 462-466.
30. BHAMBHANI, Y & SINGH, M. Metabolic and cinematographic analysis of walking and running in men and women. *Medicine-and-science-in-sports-and-exercise* 1985; 17(1): 131-137.
31. MORGAN, D.W., MARTIN, P.E., KRAHENBUHL, G. . Factors affecting running economy. *Sports-medicine* 1989; 7(5):310-330.
32. THOMAS, D. Q., FERNHALL, B., GRANAT, H. Changes in running economy during a 5-km run in trained men and women runners. *Journal-of-strength-and-conditioning-research* 1999; 13(2): 162-167.

33. ATWATER, A. Gender Differences in Distance Running. En Cavanagh, P.R. Biomechanics of distance running. Champaign: Human Kinetics, 1990; 321-354.
34. COSTILL, D & FOX, E. Energetic of marathon running. *Medicine Science Sports* 1969; 1: 81-86.
35. LAKE, M. J & CAVANAGH, P. R. Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. *Medicine-and-science-in-sports-and-exercise* 1996; 28(7): 860-869.
36. CONLEY, D., KRAHEMBHL, G., BURKETT, L. Changes in running economy relative to VO₂ máx. During a cross-country season. *Journal Sport Medicine Fitness* 1981; 24: 21-326.
37. LEGROS, P., BRSWALTER, J., JOUSSELIN, E. Variation du cout énergétique de la course en fonction de L'entraînement: évolution sur 7 anes pour un coureur de longhes distancias. *Science & Sport* 1992; 7: 35-36.
38. RODAS, G., ESTRUCH, A., PONS, V., VENTURA, J. ¿ Se modifica la economía de carrera con el entrenamiento?. *Apunts Medicina del Deporte* 1989; Vol XXVI: 73-77.
39. VUORIMAA, T. Fundamentos de la carrera de resistencia. La economía de carrera y su control. *Cuadernos de atletismo* 30; 171-179.
40. MESSIER, S. P & CIRILLO, K. J. Effects of a verbal and visual feedback system on running technique, perceived exertion and running economy in female novice runner. *Journal-of-sports-science* 1989; 7(2): 113-126.
41. AURA, O & KOMI, P. The mechanical efficiency of locomotion in men and women with special emphasis on stretch-shortening cycle exercises. *European Journal of Applied Physiology* 1986; 55: 37-43.
42. BOSCO, C., TARKKA, I., KOMI P. Effect of elastic energy and myoelectric potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. *International Journal of Sports Medicine* 1982; 3: 137-140.
43. COMETTI, G. Los métodos modernos de musculación. Barcelona: Paidotribo. 1998; 74-78.
44. KANEKO, M., MATSUMOTO, M., ITO, A., FUCHIMOTO, T. Optimum step frequency in constant speed running. *Human Kinetics Publishers* 1987; 803-807.
45. CAVANAGH, P. R & RODGERS, M. M. Pressure distribution underneath the human foot. Biomechanics: current interdisciplinary research. Selected proceedings of the Fourth Meeting of the European Society of Biomechanics 1985; 85-95.
46. VAN-INGEN-SCHENAU, G. J., BOBBERT, M. F., DE-HAAN, A. Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle. *Journal-of-applied-biomechanics* 1997; 13(4): 389-415.
47. SÁNCHEZ, F Y COLS. Análisis cinemático de la carrera en velocistas ciegos. Madrid. Consejo superior de deportes. 1996; 31-46.
48. CAVANAGH, P. R & WILLIAMS, K. The effect of stride variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1982; 14: 34-35.
49. WILLIAMS, K. R., SNOW, R., AGRUSS, C. Changes in distance running kinematics with fatigue. *International-journal-of-sport-biomechanics* 1987; 7(2):138-162.
50. MCARDLE, W., KACTCH, F., KACTH, V. Fisiología del ejercicio. Madrid: Alianza deporte. 1990; 165-176.
51. FENG, D. Sports biomechanics research on the technique of Wang Junxia's 10.000 meters full run. *Sports-science* 1994; 14(3): 43-48.
52. PRICE, K. M. A biomechanical and physiological analysis of efficiency during different running paces. Microform Publications, Int'l Institute for Sport and Human Performance, Univ. of Oregon, Eugene, Ore. 1994.
53. HINRICHS, R.N., CAVANAGH, P. R., WILLIAMS, K. R. Upper extremity function in running. I: *Center of Mass and Propulsion Considerations* 1987; 3(3):222-241.
54. RODANO, R. Estudio biomecánico del pie. *Sport & Medicina* 1990; 1:30-35.
55. MORGAN, D.W & COLS. Short-term changes in 10-km race pace aerobic demand and gait mechanics following a bout of high-intensity distance running. *European-journal-of-applied-physiology-and-occupational-physiology* 1996; 73(3/4): 267-272.
56. RAMIRO, J., GARCÍA, A., FERRANDIS, R. Criterios de diseño del calzado deportivo. En: Ponencias de Jornadas sobre Biomecánica y Patomecánica del pie en el deporte. Valencia: IBV. 1992; 163-183.
57. FREDERICK, E. The energy cost of load carriage on the feet during running. Biomechanics IX-B, Champaign: Human Kinetics Publishers. 1985; 295-300.
58. GARCÍA, M Y LEIBAR, X. Entrenamiento de la resistencia en corredores de fondo y medio fondo. Madrid: Gymnos. 1997; 95-107.
59. ANSTRAND, P Y RODAHL, K. Fisiología del trabajo físico. Buenos aires: Panamericana, 1985; 228-389.
60. ALVAREZ, J. Estudio del comportamiento de la percepción subjetiva del esfuerzo en el umbral anaeróbico. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense, 1994; 150-155.
61. PUJOL, P. Estrés térmico: aplicación de nueva tecnología. En: I Jornadas Internacionales de Fisiología del Ejercicio. Madrid: Ray-Ma. 1991; 28-33.
62. CÓRDOVA, A. La fatiga muscular y el rendimiento deportivo. Madrid: Síntesis. 1998; 233-243.