



L'ANÀLISI BIOMECÀNICA DE LES TÈCNIQUES ESPORTIVES

Fernando Vizcaíno, professor de biomecànica de l'INEF de Madrid

L'evolució esportiva ha anat de la mà de la revolució tecnològica. La cinematografia i la dinamometria han permès a la biomecànica obtenir dades altre temps impossibles.

Estic convençut que com jo molts d'altres s'hauran preguntat com és possible que un ser humà pugui arribar a saltar 8,90 m de longitud o 2,41 m de altura, dos exemples de gestes esportives que constitueixen en aquests moments dos rècords del món.

L'interrogant quasi queda sense resposta quan comparem aquestes marques amb els 4 m o 1,30 m que la mitjana de nosaltres seria capaç d'aconseguir en cadascun dels salts. Així i tot les dades són reals i avui dia quasi es coneixen les respostes. Al marge de les portentoses capacitats potencials dels atletes que ostenten els rècords esmentats, Beamon i Packlin, que els diferencien de la població normal, d'entre ells mateixos i de la resta dels campions d'altres disciplines, els actuals mètodes d'entrenament permeten obtenir rendiments sorprenents en els esportistes.

Això ha estat possible gràcies al suport científic, cada dia més acurat, que reben.

En síntesi, l'entrenament esportiu s'estructura en dos grans apartats o fases: la millora de les capacitats del subjecte i l'optimització de les capacitats en funció de l'objecte esportiu proposat.

La tècnica esportiva és en si mateixa un exponent del procés d'optimització. Com Donskoi¹ assenyala, «la tècnica esportiva és la forma d'acció motora, en l'activitat esportiva, adreçada a l'obtenció d'un alt resultat». Segons el mateix autor, «una bona tècnica garanteix la solució de la tasca motora amb el millor aprofitament de les possibilitats físiques i tècniques de l'esportista, per a la consecució d'un alt resultat esportiu».

Les lleis de la física aplicades a l'activitat motora

La biomecànica juga un paper fonamental en la recerca de la «millor solució»: la tasca motora.

La biomecànica s'ocupa de l'estudi dels moviments humans des del punt de vista de les lleis de la física. En el cas de l'esportista, aquest estudi implicarà l'efectivitat del sistema de moviments per arribar al màxim resultat.

La biomecànica de la tècnica esportiva s'ocupa, per tant, del procés d'optimització mecànic del cos humà de l'esportista per a la consecució del màxim resultat.

Sense perjudici de la biomecànica d'una tècnica esportiva que amb caràcter general permet establir els principis o supòsits biomecànics que s'han d'acomplir per obtenir l'assoliment esportiu proposat, el procés d'optimització té realment significat en la seva aplicació a un esportista concret. Això és, podem establir els nivells generals i individuals dins del procés d'optimització del qual s'ocupa la biomecànica de les tècniques. Ambdós nivells són inseparables i ens permeten afirmar que la biomecànica de la tècnica esportiva els ha d'aten-

La biomecànica s'ocupa de l'estudi dels moviments humans segons les lleis de la física per aconseguir l'optimització de la tasca motora

dre per igual, ja que són tasques en un estudi biomecànic, tant la determinació de l'eficàcia del sistema de moviment, com l'anàlisi de les desviacions que s'hi puguin produir.

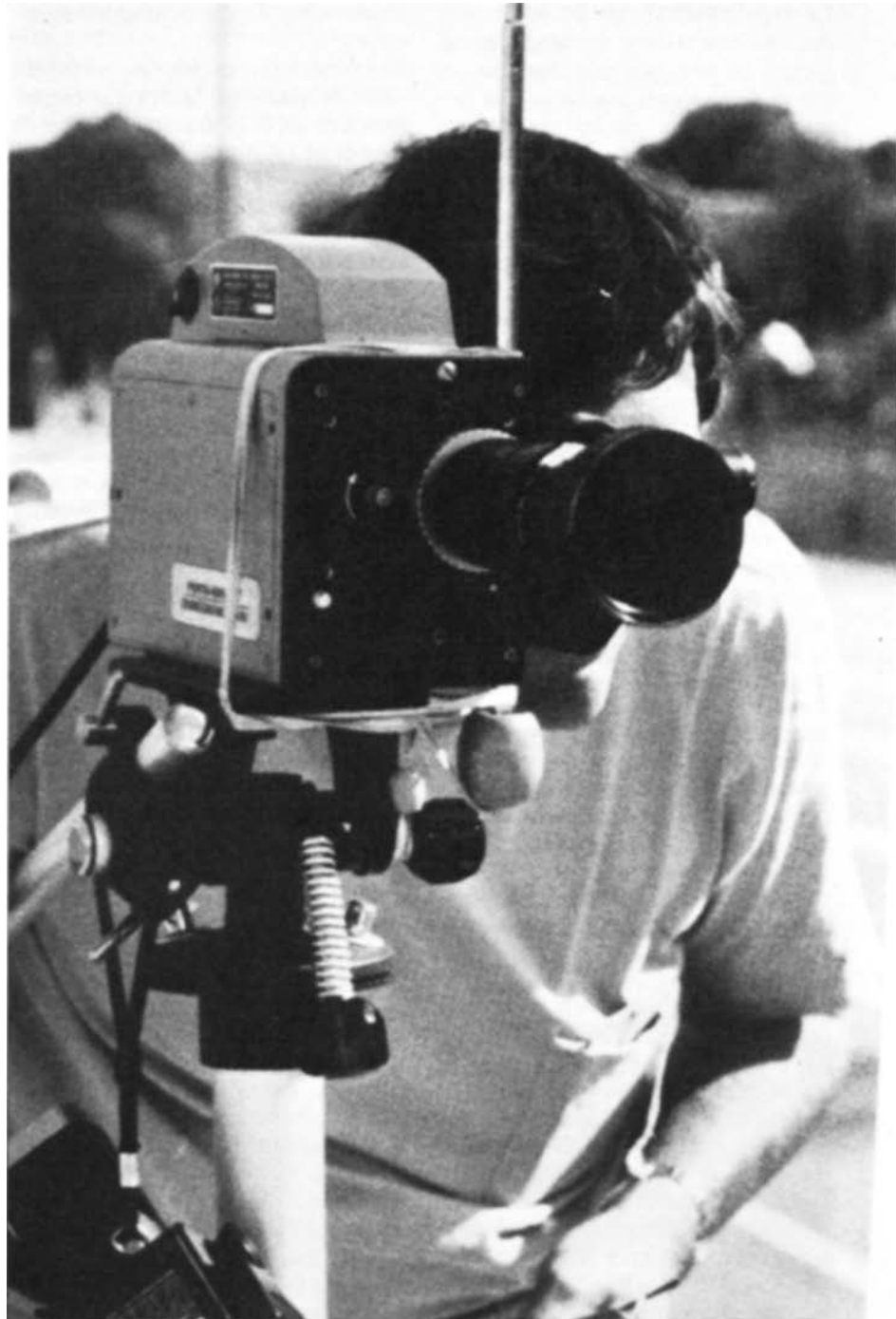
La determinació de l'eficàcia o l'anàlisi de les desviacions no és tasca fàcil, així com no és tasca fàcil aconseguir 8,91 m de longitud, a pesar que només sigui 1 cm la longitud que permetria establir un nou rècord.

Per aconseguir-ho, són molts els intents realitzats; centenars d'hores emprades en estudis i sofisticats mitjans instrumentals han estat posats a disposició dels científics.

L'evolució esportiva en les últimes dècades ha anat acompanyada de la revolució tecnològica. Com el professor Eusebio Esparza deia en el número extraordinari de desembre d'aquesta revista, potser hagi estat la biomecànica el més clar exponent d'aquesta realitat. Potentíssimes càmeres cinematogràfiques permeten abordar complexos càlculs dels moviments dels atletes. Sofisticats sistemes electrònics fan possible obtenir enregistraments dinamogràfics precisos. D'entre els mètodes utilitzats per a l'estudi biomecànic de les tècniques, podem destacar-ne principalment dos: la cinematografia i la dinamomeètria (plataformes de forces).

El mètode cinematogràfic d'anàlisi

El mètode cinematogràfic consisteix. Òbviament, a filmar els moviments d'un atleta amb càmeres que permeten velocitats de filmació elevades. 50, 100, 200, 500 o més fotogrames per segon (hi ha càmeres especials que permeten obtenir enregistraments de 10.000 o més fotogrames per segon que s'utilitzen en esports de rapidíssima execució, golf, tennis, etc.).



La possibilitat d'obtenir informació del moviment tan detallada en el temps permet per ella mateixa, al marge dels càlculs posteriors, una millora qualitativa en les possibilitats d'observació de l'atleta i entrenador. Això no obstant, la informació més completa és la que ofereix dades quantificades susceptibles de ser comparades objectivament a través dels períodes de l'entrenament.

Perquè es tracta d'una successió de fotogrames que enregistren les posicions del subjecte o objecte en el temps, la cinematografia s'aplica fonamentalment a la determinació de les constants cinemàtiques del moviment, és a dir, trajectòries, velocitats i acceleracions. Per tant, en no disposar d'informació entre cada fotograma, interessen freqüències de filmació elevades perquè els intervals de temps siguin mínims.

El fotograma, d'altra banda, recull la projecció en el pla de la pel·lícula d'una imatge en tres dimensions. Per construir la imatge tridimensional es necessiten almenys dos plans de projecció. Això s'aconsegueix incorporant una segona càmera que filmi simultàniament a la primera.

La construcció de la imatge tridimensional és complexa i calen treballsos càlculs matemàtics que dilaten en el temps la possibilitat d'oferir amb promptitud les dades de l'anàlisi. Paper fonamental juguen els ordinadors en aquesta fase de l'anàlisi.

A fi què es compregui millor el paper que juguen els ordinadors, exposo a continuació el procés seguit al nostre laboratori del Departament d'Estructura i Anàlisi del Moviment Humà i Tècnica Esportiva de l'INEF de Madrid.

Una vegada concloses les fases de filmació i revelament de la pel·lícula, aquesta es projecta fotograma a foto-

grama sobre un digitalitzador (digitalitzar).

Mitjançant un cursor, es localitzen vint-i-un punts en l'atleta que es corresponen amb el mateix nombre de centres de rotació de les articulacions. Aquests punts, o més ben dit, les coordenades d'aquests punts, són determinades pel digitalitzador, que instantàniament les envia a un magatzem de memòria prèviament establert a l'ordinador i hi romanen fins que siguin rescatades per a posterior tractament d'acord amb el programa de què es tracti. Per poder fer-se una idea de l'estalvi de temps, tingui's en compte que l'obtenció d'aquestes coordenades en una moviola o similar és de l'ordre de quinze vegades més lent. Podem imaginar-nos el guany de temps aconseguit en el total del fotogrames que corresponen a un salt que dura uns cinc segons, a cent fotogrames per segon. O sigui, un salt amb digitalitzador suposaria unes deu hores de treball i sis dies i sis hores amb moviola o similar si s'hi treballés les vint-i-quatre hores del dia. Evidentment, hi ha instruments amb els quals s'obtenen resultats intermedis.

Les coordenades de l'atleta per al conjunt de centres articulars ens permeten conèixer, en definitiva, «les mides de cada segment de l'atleta». Conforme als percentatges de massa de cada segment corporal i aquestes mides, estem en disposició d'abordar el càlcul del conjunt de variables cinemàtiques, a més els centres de gravetat, i algunes variables dinàmiques. L'elaboració dels programes adequats és una tasca complexa en si mateixa, però enormement productiva, ja que, una vegada més, permet que l'ordinador ens ofereixi els resultats d'immediat i de la forma que més ens interessa. És a dir, numèricament o gràfica, conforme a la variable estudiada o

que més convingui a l'entrenador. Per exemple, el plotter ens dibuixa de seguida la seqüència de moviments (cinegrames), trajectòries de diferents punts, etc. En aquest aspecte, podem assenyalar una de les aplicacions més grans i més interessants que ens ofereix disposar d'un instrument de càlcul tan ràpid.

Com hem comentat anteriorment, una anàlisi cinematogràfica dóna una informació fidedigna pel fet que és tridimensional. L'elaboració de la imatge tridimensional, és avui dia una realitat al nostre Departament, i diria a tota Espanya, gràcies al nostre col·laborador Javier Álvarez Ortiz, becari de l'ICEFO del CSP i al seu treball realitzat íntegrament a l'INEF de Madrid.

D'aquesta manera disposem d'informació en els tres plans de l'espai i, el que és molt més interessant, en qualsevol altre pla combinat, com si la càmera estigués en llocs on mai no ha estat. Imagini's observar un llançador de martell com si l'observador estigués situat en el mateix martell! Aquesta i moltes altres possibilitats amplien la informació que pot oferir-se a l'atleta i a l'entrenador sobre l'execució de la tècnica esportiva.

El principal avantatge en emprar mètodes cinematogràfics, rau en el fet que no es pertorben les condicions que concorren durant el moviment en competició. O sigui, no cal simular-les al laboratori, on quasi mai l'esportista les executa de la mateixa manera, ja que li manquen els estímuls i motivacions de la competició.

Això no obstant, és un mètode no gaire ràpid d'anàlisi, malgrat la utilització d'ordinador. Estem segurs que l'aplicació del vídeo contrarestarà en part aquest inconvenient. Lamentablement són escassíssims i molt cars

Gràcies als ordinadors, l'atleta obté informacions que semblaven impensables; observar un llançador de martell per exemple, des del martell mateix.

els vídeos que capten més de vint-i-cinc imatges per segon. Tot i això, aviat substituiran la cinematografia en l'anàlisi dels moviments.

El mètode dinamomètric

La dinamomètria, i en particular la utilització de les plataformes de força, ens permet determinar variables dinàmiques, forces aplicades, impulsos mecànics, etc., de difícil càlcul per mètodes cinematogràfics.

Com el seu nom indica, les plataformes de forces són unes planxes o plataformes que descansen normalment sobre quatre suports. En aquests suports hi ha localitzats els sensors de força, que poden ser de diferents tipus, cristall de quars, galgues tensiomètriques, etc.

Aquest mètode ofereix informació sobre la força total exercida (F) en diferents instants de temps. Per tant, ens permet conèixer els impulsos mecànics aplicats.

També podem conèixer els tres components de la força, transversal (F_x), horitzontal i vertical (F_y) (F_z): punt d'aplicació, moment respecte a l'eix vertical i, lògicament, els tres components de l'impuls ($F \cdot t$) : ($F_x \cdot t$), ($F_y \cdot t$) y ($F_z \cdot t$).

La plataforma ens ofereix informació dinàmica en l'extrem de la cadena cinètica corporal que contacta amb aquesta. No obstant, si aquestes dades són combinades amb les que s'obtenen per cinematografia, com ara acceleracions articulars, podem resoldre les equacions dinàmiques dels segments corporals, a partir del més pròxim a la superfície de suport. El coneixement de les variables dinàmiques és imprescindible si volem acostar-nos a la realitat biomecànica de la tècnica esportiva, ja que permet enllaçar amb el comportament mecànic de l'aparell locomotor humà, especialment amb la mecànica muscular.

Els músculs, com a òrgans generadors de força, constitueixen un element fonamental dins del procés d'entrenament, i el biomecànic ha d'oferir a l'entrenador i a l'atleta el més gran nombre possible de dades sobre el comportament mecànic dels segments corporals en l'execució d'una tècnica determinada. Ja que és ben sabut que la resposta mecànica d'un múscul és molt diferent segons quin sigui l'estat d'excitabilitat que presenti d'acord amb les sol·licitacions a què està sotmès.

La creació de noves tècniques

Per últim, considerem molt interessant ressaltar la possibilitat que ofereix la biomecànica en la «creació de noves tècniques».

Aquesta es basa en la possibilitat d'elaborar matemàticament nous moviments abans que siguin provats per l'esportista.

Consisteix, en definitiva, a simular situacions o moviments artificialment i a estudiar les implicacions biomecàniques que suposarien a un esportista, o, en general, a la tècnica en qüestió. D'aquesta manera, l'atleta podria assajar cada element del conjunt que constitueix el nou moviment creat amb disminució dels factors de risc i de dificultat.

En resum, la biomecànica juga un paper fonamental en l'avaluació i control de la tècnica esportiva, així com en la investigació de noves formes de moviment que constituïran la tècnica del futur.

NOTES:
I. DONSKOI, DD., *Biomechanik der Körperübungen*
Berlín Verlag, 1961.

