

Alberto García-Fojeda,
Francesc Biosca,
Joan Carles Válios,
*Laboratori de Valoració Mecànica
INEFC-Lleida.*



LA BIOMECÀNICA, UNA EINA PER A L'AVALUACIÓ DE LA TÈCNICA ESPORTIVA

Paraules clau: biomecànica, fotogrametria, electromiografia, plataformes de força i cèl·lules fotosensibles.

Abstract

This work grew as a result of the importance of sports results in various fields of life, and the difficulty, ever greater, to better records. One of the possibilities of bettering the results is to increase the mechanical efficiency of the gestures in different sporting specialities, that is to say, to perfect the technique. For this we suggest the use of biomechanics as a useful tool, which together with the knowledge associated with it and the instrumental techniques used, will permit us to evaluate and propose alternatives to certain motor actions. The identification and the knowledge of the variable mechanics that take part in the sporting technique results are the first step in what also must take part biomechanics and technicians so as later to use instrumental techniques which allow us to measure these variables.

The techniques of the measurements presented are divided into: indirect —photogrammetry— and direct —electromyography, strength platforms and photosensitive cells— of which we give a brief description.

Resum

El treball neix de la importància que tenen els resultats esportius en diversos àmbits de la vida i de la dificultat, cada cop més gran, per millorar les marques. Una de les possibilitats per a la millora dels resultats és augmentar l'eficàcia mecànica dels gests que intervenen en les diferents especialitats esportives, en definitiva, depurar les tècniques. Per això, es planteja l'ús de la Biomecànica com a una eina útil, la qual, juntament amb els

coneixements associats a la mateixa y les tècniques instrumentals que emprà, permetrà avaluar i proposar alternatives a certes accions motores. La identificació i el coneixement de les variables mecàniques que intervenen en el resultat de la tècnica esportiva són el primer pas en el que tenen que intervenir biomecànics i tècnics per a, posteriorment, emprar les tècniques instrumentals que permetin mitjançar aquestes variables.

Les tècniques de mesura presentades són dividides en: indirectes —la fotogrametria— i directes —electromio-

grafia, plataformes de força i cèl·lules fotosensibles— de les quals s'ofereix una breu descripció.

L'esport és considerat com un dels fenòmens socials més importants del segle XX i l'Olimpisme, en una clara mostra d'aquesta afirmació. Les olimpíades, entre altres coses, han estat i estan sent utilitzades per mostrar una determinada imatge del món de molts països i inclús d'altres governs, ja que uns bons resultats esportius s'associen a benestar social, pau, progrés, desenvolupament, etc. Aconseguir bons resultats esportius en una Olimpíada resulta cada cop més difícil, atès que els nivells de marques es van superant i, en algunes disciplines esportives, ens trobem cada cop més a prop dels límits humans.

La millora dels resultats cada cop està més condicionada a la millora dels paràmetres antropomètrics dels esportistes, millores de tipus biològic sobretot relacionades amb la força muscular i millores de tipus tècnic, a més del control d'altres variables, com les psicològiques.

Les millores de tipus antropomètric dels esportistes van lligades a la selecció de talents i a les millores evolutives de l'espècie humana i poc es pot fer per produir aquests canvis en els esportistes.

Les millores de tipus biològics depenen de les adaptacions que realitza el cos humà als estímuls als quals està sotmès mitjançant les càrregues d'entrenament i aquestes càrregues cada cop tenen major volum i intensitat, per la qual cosa l'aparell locomotor es troba quasi al límit de les seves possibilitats suportant un gran estrès que, a vegades, desencadena lesions de diferents tipus per sobrecàrrega. El dotatge és un altre camí per produir canvis biològics en l'organisme humà que permeten millorar els resultats espor-

tius, però, com és sabut, és una pràctica prohibida legalment i èticament i sobre la qual cada cop s'exerceixen més controls que inclús han provocat un estancament i retrocés en algunes marques esportives.

Les millores en la tècnica estan condicionades al descobriment de noves solucions motrius a uns problemes determinats d'un marc reglamentari. Això significa noves maneres d'executar una acció determinada, o bé la millora en l'eficàcia mecànica dels moviments que en l'actualitat s'estan realitzant.

Com s'ha expressat anteriorment, sobre els paràmetres antropomètrics poc es pot fer, que no sigui la selecció d'esportistes que ja tinguin unes característiques determinades o que puguin arribar a tenir-les per la seva determinació genèrica. Per arribar a assolir millores en la tècnica existeix una eina que està ajudant en l'actualitat a aquestes finalitats, però que segur que en un futur immediat serà determinant per això; aquesta eina és la Biomecànica que també és utilitzada entre altres coses per a l'estudi i prevenció dels mecanismes lesionals.

Per tal de situar la biomecànica com una eina en el camp de la motricitat humana, és necessari establir bases conceptuals ja que la biomecànica ha estat definida per diferents organismes i personalitats, i cadascuna d'aquestes definicions té una marcada orientació segons els definidors. A continuació algunes d'aquestes definicions:

L'Associació Americana d'Enginyeria Mecànica, al 1972 definia la biomecànica com:

Un estudi del cos humà com un sistema sota ds conjunts de lleis: les lleis de la mecànica newtoniana i les lleis biològiques.

La Societat Ibèrica de Biomecànica, al 1978 ho feia com:

Un estudi de les forces actuant i/o generades pel cos humà i sobre els efectes d'aquestes forces en els teixits o materials implantats en l'organisme.

I l'Institut de Biomecànica de València, al 1992 ho feia de la següent manera:

Un conjunt de coneixements interdisciplinaris generats a partir d'utilitzar, amb el suport d'altres ciències biomèdiques, els coneixements de la mecànica i diferents tecnologies en, primer l'estudi del comportament dels sistemes biològics i en particular del cos humà, i segon, en resoldre els problemes que li provoquen les diferents condicions a les quals pot veure's sotmès.

D'aquestes definicions es pot extreure que la biomecànica estudia des del punt de vista de la mecànica el moviment dels éssers humans i per tant, l'aparell locomotor. L'esport és moviment i per tant, l'estudi del moviment de l'aparell locomotor durant la pràctica esportiva és un àrea d'estudi que li correspon a la biomecànica esportiva.

La biomecànica esportiva pot ser al seu torn classificada en *biomecànica interna*, que és la part encarregada de l'estudi de les sol·licitacions mecàniques a què es veuen sotmesos els diferents teixits, i les conseqüències d'aquestes sol·licitacions sobre aquests, i la *biomecànica externa* que estudia els canvis en les posicions espacials al llarg del temps, dels diferents segments corporals, en definitiva l'anàlisi de les diferents tècniques esportives amb la finalitat d'optimitzar-les. La biomecànica interna i externa tenen una incidència directa sobre el gest esportiu i el resultat d'aquest i, conseqüentment sobre la seva patologia, la seva prevenció i el seu tractament.

Segons el que s'ha enunciat amb anterioritat, la biomecànica externa i la bio-



mecànica de les tècniques esportives podria dir-se que és el mateix quan es referència la biomecànica esportiva.

Quin paper juga la biomecànica en l'esport d'alt rendiment? La resposta pot ser molt senzilla i ja s'ha donat: el fet de millorar la tècnica esportiva amb la finalitat d'optimitzar-la i evitar lesions per sobrecàrrega corregint l'origen d'aquestes. El problema és que això que conceptualment és molt senzill, en la realitat resulta molt difícil de portar a la pràctica. La següent pregunta per respondre seria aquesta: què és necessari per posar en pràctica el que en teoria resulta senzill? La resposta és treball en col·laboració entre els tècnics esportius i els biomecànics que treballen en el laboratori. Entre ambdós han d'identificar les variables que determinen el resultat esportiu en una determinada tècnica, mesurar-les i introduir modificacions necessàries en els processos d'entrenament per veure les respostes a aquestes modificacions. També resulta necessari l'establiment de bases de dades àmplies sobre patrons mecànics d'execució de les diferents tècniques esportives que permetin realitzar anàlisis comparatives entre els resultats i els obtinguts per qualsevol esportista.

Hay (1980) va identificar alguns dels paràmetres mecànics que determinen el resultat en certes tècniques esportives (fig. 1), sobre tot d'especialitats d'atletisme, perquè aquestes tècniques són considerades com a habilitats esportives, però en altes el resultat no depèn primerament de les variables de tipus mecànic i és en aquestes especialitats on la biomecànica té molt menys a aportar per a la millora dels resultats esportius.

Per poder portar a terme amidaments de paràmetres mecànics de les tècniques esportives resulta necessari la utilització d'equipaments més o menys sofisticats amb els quals compten els

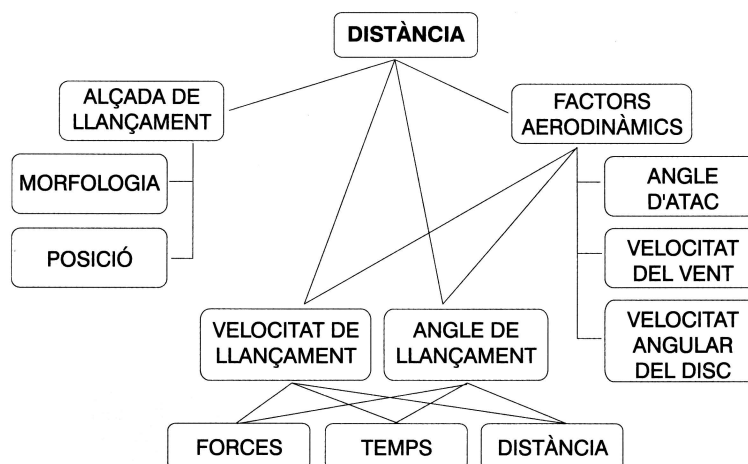


Figura 1. Paràmetres que determinen el resultat en llançament de disc

laboratoris de biomecànica. Fins a dates molt recents, el fet de referir-se a aquests centres era com parlar d'utopies o de països amb un gran desenvolupament tecnològic, però afortunadament, els laboratoris al nostre país, avui són una realitat que ha vingut de la mà de l'educació física i l'esport, i en alguns casos, de la medicina. El coneixement extensiu de les característiques i usos més freqüents d'aquests equips pot ser un pas més en l'atansament de la biomecànica als tècnics esportius. Les variables o paràmetres, que s'han esmentat anteriorment, poden ser mesurades de dues maneres: els mesuraments indirectes i els mesuraments directes.

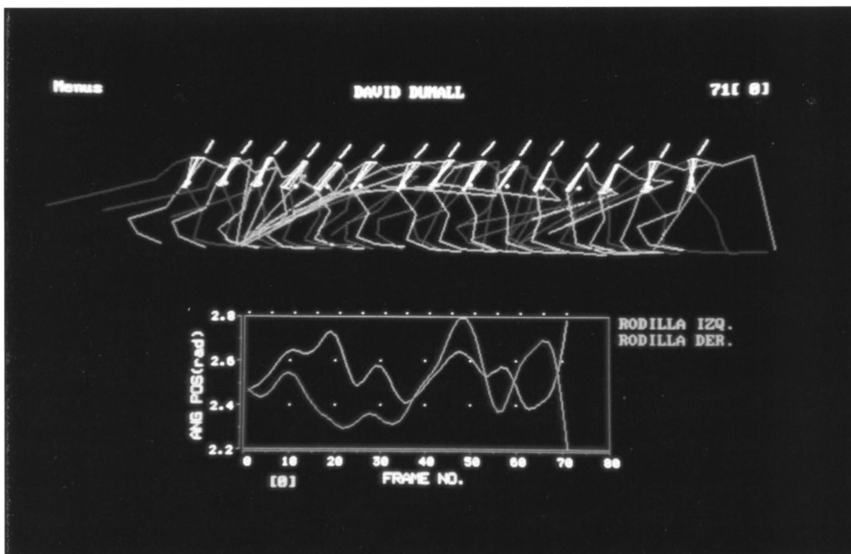
Mesuraments indirectes

Pràcticament la totalitat de les anàlisis d'elles tècniques esportives realitzades durant la competició —que és la situació més real pe a aquests tipus d'estu-

di—, s'han realitzat per mitjà de mesuraments indirectes de pel·lícules de cinema o vídeo preses de les competicions. Les dades obtingudes d'aquest tipus d'anàlisi són quasi exclusivament de tipus cinemàtic i estan referides a la biomecànica externa. També es podria arribar a realitzar diferents valoracions de dinàmica pel mètode invers, però aquests són difícils d'aconseguir amb una bona fiabilitat. Els mesuraments indirectes es realitzen normalment per mitjà de la fotogrametria.

Fotogrametria

Segons el tipus de moviment i les variables a estudiar, es realitzen anàlisis en dues o tres dimensions. Quan el moviment que s'ha d'anàlitzar es pot localitzar en un pla, es pot usar l'anàlisi bidimensional amb l'ajut d'una sola càmera de vídeo o de cinema, i un sistema de referències pla per establir les escales. Aquestes anàlisis aporten una informació interessant en molts tipus de moviment i no requereixen més



tecnologia en alguns casos que la càmera de vídeo o cinema i un televisor o projector per poder realitzar mesuraments i transformacions d'escala. En altres casos, es pot requerir l'ajut de la informàtica per facilitar processos de presa de coordenades o digitalització de diferents punts corporals i càlculs a realitzar. Existeixen en el mercat equips i programes per a aquesta finalitat, però aquests també es poden dissenyar, muntar i programar en funció de les necessitats de cadascun, at-

sa la seva senzillesa. Amb aquest tipus d'anàlisi es poden calcular: posicions, trajectòries, velocitats i acceleracions lineals i angulars de punts i segments corporals.

Quan es requereix informació més completa del moviment perquè aquest es realitza en diferents plans espacials, és necessari recórrer a l'anàlisi tridimensional, per a la qual cosa es requereixen al menys dues càmeres de vídeo o cinema i un sistema de referències espacial per realitzar les filmacions.

Aquest tipus d'anàlisi posseeix una major complexitat pel fet que ha de realitzar la calibratge espacial a partir de les coordenades planes de la filmació d'un objecte control amb cadascuna de les dues càmeres i les mesures reals d'aquest objecte. Per fer això s'utilitza l'algoritme matemàtic D.L.T. (Abdel-Aziz i Karara, 1971). Aquests tipus d'anàlisis requereixen equips i programes informàtics especialitzats. Els equips consten de material de filmació que contenen, al menys, dues càmeres amb els seus corresponents trípodes i un sistema de referència per a l'extracció i el tractament de dades que consta al menys d'un ordinador, un magnetoscopi o sistema de projecció, si s'utilitza el cinema, un sistema de digitalització i un programa que tracti totes les dades. En el mercat existeixen diferents paquets informàtics per a aquesta finalitat, entre els quals val la pena de destacar alguns d'ells: Biomeca (desenvolupat pel Departament d'EF de la Universitat de Granada), Cine 3-D-IBV (desenvolupat per l'Institut de Biomecànica de València), Orto-bios (desenvolupat per la Universitat de Saragossa), KWON3D, Peek Performance, Ariel, Elite, etc. Un cop obtingudes les coordenades 3D dels punts a analitzar, es procedeix al càlcul de tots els paràmetres cinemàtics lineals i angulars, amb la qual cosa obtenim la informació espacial i temporal completa de com s'ha realitzat un determinat moviment o gest esportiu.

Mesuraments directes

Són les que es realitzen directament de l'individu quan aquest fa una determinada acció. Són mesuraments amb un alt grau de fiabilitat, però amb el greu inconvenient que en molts casos s'ha d'instrumentar el subjecte, amb la qual



cosa es pot distorsionar el seu moviment. En altres casos, els mesuraments es realitzen en situació de laboratori, ja que els reglaments de competicions no permeten la instal·lació de certs equips durant aquestes. Els mesuraments directes més freqüentment utilitzats fan referència a Electromiografia, a plataformes de forces i a cèl·lules fotosensibles.

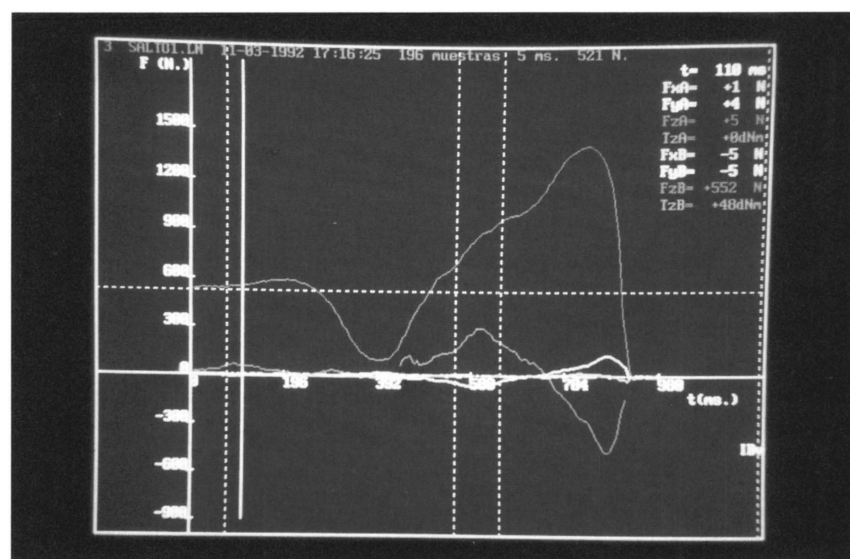
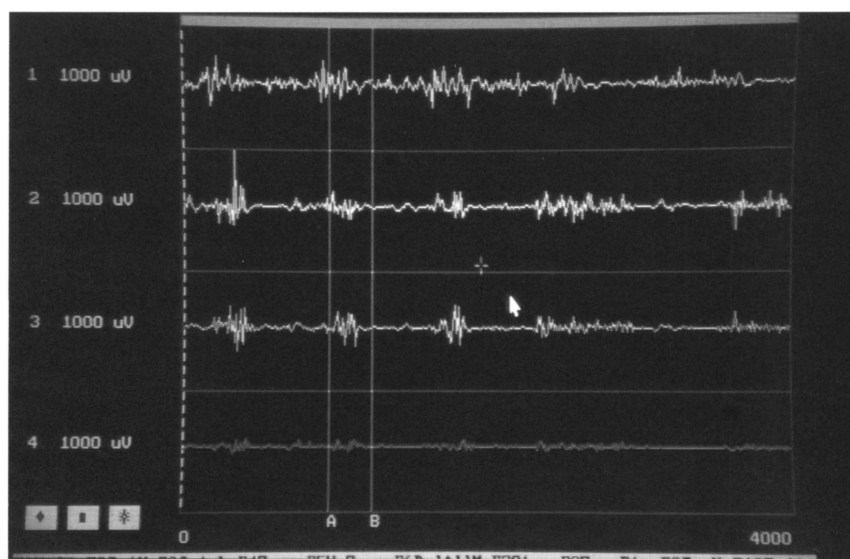
Electromiografia

L'estudi de la funció muscular a través de la investigació del senyal elèctric generat pels músculs és el que s'anomena Electromiografia o E.M.G. Com ja se sap, els músculs generen un potencial d'acció muscular que pot ser registrat mitjançant diferents tipus d'elèctrodes: d'inserció (agulla i filferro) i de superfície.

Els potencials d'acció muscular estan íntimament relacionats amb les tensions que desenvolupen les fibres musculars i, al seu torn, amb la forma que els músculs exerceixen sobre les seves insercions.

El tipus d'EMG, usada en biomecànica, és de superfície i posseeix l'avantatge de no ser de tipus invasiu, però que també té algunes limitacions, com el fet que els músculs estudiats han de ser superficials, ja que el potencial d'acció registrat per aquest tipus d'elèctrodes és el que passa cap a la pell, i no es registra quan la profunditat del múscul és de més de 20 mm.

Els senyals registrats poden ser emmagatzemats en diferents formats magnètics i posteriorment són tractats. El tractament d'aquests senyals és diferent en funció del tipus d'anàlisi, si bé el més comú en el nostre àmbit és el filtrat i integració del senyal per a la realització d'anàlisis temporals, per calcular el valor mitjà del senyal durant els períodes establerts, valor que ve donat en unitats de microvolts per segon. Atesa la dificultat de valoracions totalment quantita-



tives dels senyals electromiogràfics, amb freqüència es realitzen valoracions qualitatives basades en el Sistema IDANCO (Clarís et al., 1988).

L'EMG permet conèixer quins són els músculs que participen en una determinada acció i la intensitat amb què ho realitzen. L'EMG també s'utilitza en treballs relacionats amb la resposta muscular al cansament, conductivitat nerviosa, etc.

Les anàlisis electromiogràfiques en biomecànica, normalment van acom-

panyades d'altres tipus d'anàlisi com els dinamomètrics i cinemàtics, que es realitzen de manera sincrònica i faciliten l'establiment de relacions causa-efecte en el moviment.

Plataformes de forces

Les plataformes dinamomètriques són un instrument de precisió dissenyat per al mesurament de les forces que s'exerceixen contra elles. Les forces exercides es poden descompondre en els seus components de

direcció (vertical, anterior-posterior i transversal). El coneixement de la magnitud, la direcció i el punt d'aplicació permeten calcular moltes altres variables mecàniques que intervenen i ajuden a descriure el moviment.

Aquest equipament té innumerables aplicacions, però possiblement el moviment en què s'ha utilitzat més en biomecànica ha estat per a l'estudi de la marxa humana, cosa que ha permès obtenir un patró de moviment per a la marxa normal i per a diferents discapacitats relacionades amb l'aparell locomotor. Diferents estudis relacionats amb l'equilibri humà també han utilitzat aquest instrumental com a mitjà d'avaluació, com també d'altres moviments com la carrera, els salts i els llançaments.

Un cop mesurades les forces exercides sobre les plataformes, amb càlculs i models mecànics més o menys sofisticats es poden establir aproximacions de les forces actuant en diferents articulacions del cos humà, per a l'estudi de les sol·licitacions mecàniques a què es veuen sotmeses les diferents estructures anatòmiques.

Cèl·lules fotosensibles

Les cèl·lules fotosensibles ens permeten realitzar mesuraments del temps amb una gran precisió, fet que unit al coneixement de la distància entre elles ens proporciona el mesurament de velocitats i acceleracions en diferents moviments.

Aquest sistema de mesurament és d'una gran senzillesa tecnològica i té un cost molt baix, amb la qual cosa cada cop és més utilitzat en la valoració de les tècniques esportives en què els paràmetres de velocitat i acceleració són determinants en el rendiment.

Les cèl·lules fotosensibles també són utilitzades per al mesurament dels temps de reacció i per al control de la variable velocitat en diferents dissenys experimentals.

L'instrumental ressenyat i altres equips que es podrien afegir, només serveixen per mesurar variables cinemàtiques i dinàmiques i és a partir d'aquí on l'investigador, el tècnic esportiu i el metge, segons el cas, amb els seus dissenys experimentals han d'intentar establir relacions causa-efecte per introduir modificacions en els processos d'entrena-

ment que intentin millorar els resultats esportius o proposar mesures preventives que puguin evitar certes lesions o, si més no, disminuir-les al màxim.

Bibliografia

- ABDEL-AZIR, Y.J. & KARARA, H.M. (1971). *Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close/range photogrammetry*. A.S.P. Symposium on close/range photogrammetry. American society of Photogrammetry: Falls Church.
- CLARIS, J.P.; CABRI, J.; DEWITTE, B.; TOUSSAINT, H.; DEGROOT, G.; HUYING, P. y HOLLANDER, P. (1988). "Electromyography applied to sport ergonomics". *Ergonomics*, Vol. 31, pp. 1605-1620.
- DAINTY, D.; NORMAN, R. (1987). *Standardizing biomechanical testing in sport*. Human Kinetics Publishers
- HAY, J. (1980). *Biomécanique des techniques sportives*. Vigot. Paris
- PRAT, J.; SANCHEZ-LACUESTA, J.; HOYOS, J.V.; VIOSCA, E.; SOLER-GRACIA, C.; COMIN, M.; LAFUENTE, R.; CORTES, A.; VERA, P. (1993). *Biomecànica de la marxa humana normal y patològica*. I.B.V. Valencia.
- WINTER, D. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Son. New York.