



Alberto García-Fojea,
Francesc Biosca,
Joan Carles Vállos,
*Laboratorio de Valoración Mecánica
INEFC-Lleida.*

LA BIOMECÁNICA: UNA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DEPORTIVA

Abstract

Palabras clave: biomecánica, fotogrametría, electromiografía, plataformas de fuerza y células fotosensibles.

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.

Resumen

El trabajo nace de la importancia que tienen los resultados deportivos en diversos ámbitos de la vida y de la dificultad, cada vez mayor, para mejorar las marcas. Una de las posibilidades para la mejora de los resultados es aumentar la eficacia mecánica de los gestos que intervienen en las diferentes especialidades deportivas, en definitiva, depurar las técnicas. Para ello, se plantea el uso de la Biomecánica como una herramienta útil, la cual, junto con los conocimientos

asociados a ella y las técnicas instrumentales que utiliza, permitirá evaluar y proponer alternativas a ciertas acciones motoras. La identificación y el conocimiento de las variables mecánicas que intervienen en el resultado de la técnica deportiva son el primer paso en el que tienen que intervenir biomecánicos y técnicos para, posteriormente, utilizar las técnicas instrumentales que permitan mediar estas variables.

Las técnicas de medición presentadas están divididas en: indirectas —la fotogrametría— y directas —electromiografía, plataformas de fuerza y células

fotosensibles— de las cuales se ofrece una breve descripción.

El deporte es considerado como uno de los fenómenos sociales más importantes del Siglo XX, y el Olimpismo es una clara muestra de esta afirmación. Las olimpiadas, entre otras cosas, han sido y están siendo utilizadas para mostrar al mundo una determinada imagen de muchos países, e incluso de algunos gobiernos, ya que unos buenos resultados deportivos se asocian en ocasiones a bienestar social, paz, progreso, desarrollo, etc.. Conseguir buenos resultados deportivos en una Olimpiada resulta cada vez más difícil, pues los niveles de marcas se van superando, y, en algunas disciplinas deportivas, nos encontramos cada vez más cerca de los límites humanos.

La mejora de los resultados cada vez está más condicionada a la mejora de parámetros antropométricos de los deportistas, mejoras de tipo biológico sobre todo relacionadas con la fuerza muscular, y mejoras de tipo técnico, además del control de otras variables como las psicológicas.

Las mejoras de tipo antropométrico de los deportistas van ligadas a la selección de talentos y a las mejoras evolutivas de la especie humana, y poco se puede hacer para producir estos cambios en los deportistas.

Las mejoras de tipo biológico dependen de las adaptaciones que realiza el cuerpo humano a los estímulos a los que es sometido mediante las cargas de entrenamiento, y estas cargas cada vez tienen mayor volumen e intensidad, por lo que el aparato locomotor se encuentra casi al límite de sus posibilidades, soportando un gran estrés que, en ocasiones, desencadena lesiones de diferentes tipos por sobrecarga. El doping es otro camino para producir cambios biológicos en el organismo humano que permiten mejorar los resultados deportivos

pero, como es sabido, es una práctica prohibida legal y éticamente y sobre la cual cada vez se ejercen más controles que incluso han provocado un estancamiento y retroceso en algunas marcas deportivas.

Las mejoras en la técnica están condicionadas al descubrimiento de nuevas soluciones motrices a unos problemas determinados dentro de un marco reglamentario. Esto significa nuevas maneras de ejecutar una acción determinada, o bien la mejora en la eficacia mecánica de los movimientos que en la actualidad se están realizando.

Como se ha expresado anteriormente, sobre los parámetros antropométricos poco se puede hacer como no sea la selección de deportistas que ya posean unas características determinadas o que puedan llegar a tenerlas por su determinación genética. Para llegar a conseguir mejoras de la técnica existe una herramienta que está ayudando en la actualidad a estos fines, y que seguro que en un futuro inmediato será determinante para ello. Esta herramienta es la Biomecánica, que también es utilizada, entre otras cosas, para el estudio y prevención de los mecanismos lesionales.

Para situar la biomecánica como una herramienta en el campo de la motricidad humana, es necesario establecer unas bases conceptuales ya que la biomecánica ha sido definida por diferentes organismos y personalidades, y cada una de estas definiciones tienen una marcada orientación según los definidores. Veamos a continuación algunas de estas definiciones.

La Asociación Americana de Ingeniería Mecánica, en 1972, definía biomecánica como:

Estudio del cuerpo humano como un sistema bajo dos conjuntos de leyes: las leyes de la mecánica newtoniana y las leyes biológicas.

La Sociedad Ibérica de Biomecánica, en 1978, lo hacía como:

Estudio de las fuerzas actuantes y/o generadas por el cuerpo humano, y sobre los efectos de estas fuerzas en los tejidos o materiales implantados en el organismo.

Y el Instituto de Biomecánica de Valencia, en 1992, lo hacía de la siguiente forma:

Conjunto de conocimientos interdisciplinares generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras ciencias biomédicas, los conocimientos de la mecánica y distintas tecnologías en primer lugar el estudio del comportamiento de los sistemas biológicos y en particular del cuerpo humano, y segundo, en resolver los problemas que le provocan las distintas condiciones a las que puede verse sometido.

De estas definiciones se puede extraer que la biomecánica estudia, desde el punto de vista de la mecánica, el movimiento de los seres vivos y por lo tanto el aparato locomotor. El deporte es movimiento y, por ende, el estudio del movimiento del aparato locomotor durante la práctica deportiva es un área de estudio que le corresponde a la biomecánica deportiva.

La biomecánica deportiva puede ser a su vez clasificada en *biomecánica interna*, que es la parte encargada del estudio de las solicitudes mecánicas a que se ven sometidos los diferentes tejidos, y las consecuencias de estas solicitudes sobre los mismos, y la *biomecánica externa* que estudia los cambios en las posiciones espaciales a lo largo del tiempo, de los diferentes segmentos corporales; en definitiva, el análisis de las diferentes técnicas deportivas con el fin de optimizarlas. La biomecánica interna y externa tienen una incidencia directa sobre el gesto deportivo y el resultado de éste, y consecuentemente sobre su patología, su prevención y su tratamiento.



Según lo enunciado con anterioridad, la biomecánica externa y la biomecánica de las técnicas deportivas podría decirse que son lo mismo cuando se referencia la biomecánica deportiva.

¿Qué papel juega la biomecánica en el deporte de alto rendimiento? La respuesta puede ser muy sencilla y ya se ha dado: mejorar la técnica deportiva con el fin de optimizarla, y evitar las lesiones por sobrecarga corrigiendo su origen. El problema es que eso que conceptualmente es muy sencillo, en la realidad resulta muy difícil de llevar a la práctica. La siguiente pregunta a responder sería: ¿Qué es necesario para poner en práctica lo que en teoría resulta sencillo? La respuesta es: trabajo en colaboración entre los técnicos deportivos y los biomecánicos que trabajan en el laboratorio. Entre ambos deben identificar las variables que determinan el resultado deportivo en una determinada técnica, medirlas e introducir las modificaciones necesarias en los procesos de entrenamiento, para ver las respuestas a estas modificaciones. También resulta necesario el establecimiento de bases de datos amplias sobre los patrones mecánicos de ejecución de las diferentes técnicas deportivas, que permitan realizar análisis comparativos entre estos resultados y los obtenidos por cualquier deportista.

Hay (1980) identificó algunos de los parámetros mecánicos que determinan el resultado en ciertas técnicas deportivas (Fig. 1), sobre todo de especialidades de atletismo, por ser consideradas estas técnicas como destrezas cerradas. Esta idea se extendió y se ha aplicado a otras muchas especialidades deportivas, pero en otras el resultado no depende principalmente de variables de tipo mecánico, y es en estas especialidades donde la biomecánica tiene mucho menos que aportar para la mejora de los resultados deportivos.

Para poder llevar a cabo mediciones de parámetros mecánicos de las técnicas

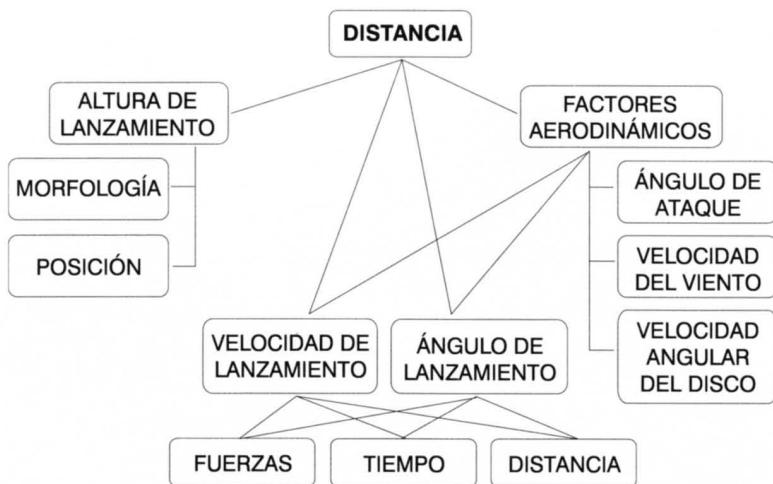


Figura 1. Parámetros que determinan el resultado en lanzamiento de disco

deportivas resulta necesaria la utilización de equipamientos más o menos sofisticados con los que cuentan los laboratorios de biomecánica. Hasta fechas muy recientes referir estos centros era hablar de utopías, o de países con un gran desarrollo tecnológico, pero, afortunadamente, los laboratorios en nuestro país hoy son una realidad que ha venido de la mano de la educación física y el deporte, y en algunos casos de la medicina. El conocimiento extensivo de las características, y usos más frecuentes de estos equipos puede ser un paso más en el acercamiento de la biomecánica a los técnicos deportivos.

Las variables o parámetros que se han referenciado anteriormente pueden ser medidas de dos formas: Las mediciones indirectas y las mediciones directas.

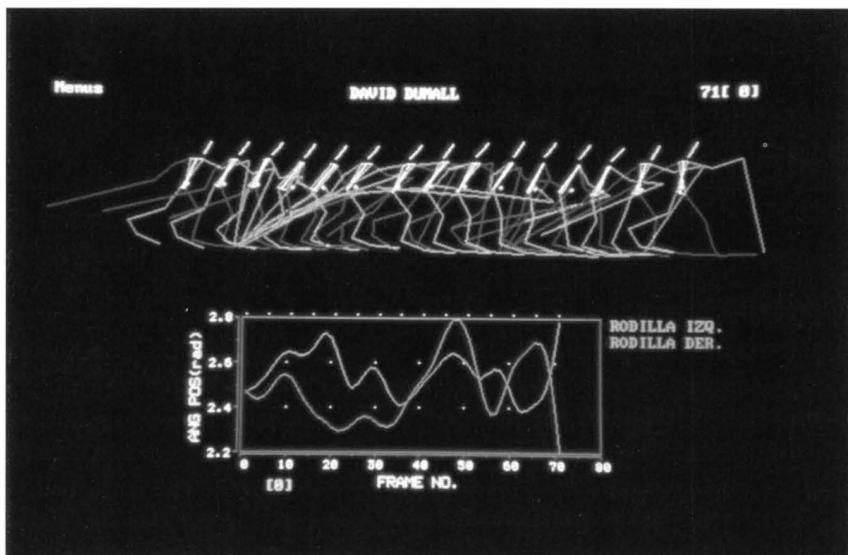
Mediciones indirectas

Prácticamente la totalidad de los análisis de las técnicas deportivas realizados durante la competición —que es la situación más real para este tipo de estu-

dios— se realizan por medio de mediciones indirectas con películas de cine o de vídeo tomadas de las competiciones. Los datos obtenidos de este tipo de análisis son casi exclusivamente de tipo cinematográfico y referidos a la biomecánica externa. También se podrían llegar a realizar valoraciones de dinámica por el método inverso, pero éstas son difíciles de conseguir con una buena fiabilidad. Las mediciones indirectas se realizan normalmente por medio de la fotogrametría.

Fotogrametría

Según el tipo de movimiento y las variables a estudiar se realizan análisis en dos o en tres dimensiones. Cuando el movimiento o variables a analizar se pueden localizar en un plano, se puede usar el análisis bidimensional con la ayuda de una sola cámara de vídeo o cine, y un sistema de referencias plano para establecer las escalas. Estos análisis aportan una información interesante en muchos tipos de movimiento y no requieren más tecnología, en algunos casos, que la cámara de vídeo o



cine y un televisor o proyector para poder realizar mediciones y transformaciones de escala. En otros casos se puede requerir la ayuda de la informática para facilitar los procesos de toma de coordenadas o digitalización de diferentes puntos corporales y cálculos a realizar. Existen en el mercado equipos y programas para este fin, pero también se pueden diseñar, montar y programar, en función de las necesidades de cada uno, dada su sencillez. Con este tipo de análisis se pueden calcular: po-

siciones, trayectorias, velocidades y aceleraciones, lineales y angulares de puntos y segmentos corporales.

Cuando se requiere información más completa del movimiento o cuando este se realiza en diferentes planos espaciales, es necesario recurrir al análisis tridimensional, para lo cual se requieren al menos dos cámaras de vídeo o cine, y un sistema de referencias espacial para realizar las filmaciones. Este tipo de análisis posee una mayor complejidad al tener que realizar la

calibración espacial a partir de las coordenadas planas de la filmación de un objeto control con cada una de las dos cámaras y las medidas reales de este objeto. Para esto se utiliza el algoritmo matemático D.L.T. (Abdel-Aziz y Karara 1971). Estos tipos de análisis requieren equipos y programas informáticos especializados. Los equipos constan de material de filmación con, al menos, dos cámaras con sus correspondientes trípodes y un sistema de referencia y material para la extracción y el tratamiento de datos que consta, como mínimo de un ordenador, un magnetoscopio o sistema de proyección si se utiliza el cine, un sistema de digitalización, y un programa que trate todos los datos. En el mercado existen diversos paquetes informáticos para este fin entre los que merecen ser mencionados los siguientes: Biomeca (Desarrollado por el Departamento de E.F. de la Universidad de Granada), Cine 3-D -IBV (desarrollado por el Instituto de Biomecánica de Valencia), Orto-bios (desarrollado por la Universidad de Zaragoza), KWON3D, Peak Performance, Ariel, Elite, etc. Una vez obtenidas las coordenadas 3D de los puntos a analizar se procede al cálculo de todos los parámetros cinemáticos lineales y angulares, con lo que obtenemos la información espacial y temporal completa de cómo se ha realizado un determinado movimiento o gesto deportivo.

Mediciones directas

Son las que se realizan directamente del individuo cuando efectúa una determinada acción. Son mediciones con un alto grado de fiabilidad, pero con el grave inconveniente que en muchos casos se tiene que instrumentar al sujeto, con lo que se puede distorsionar su movimiento.

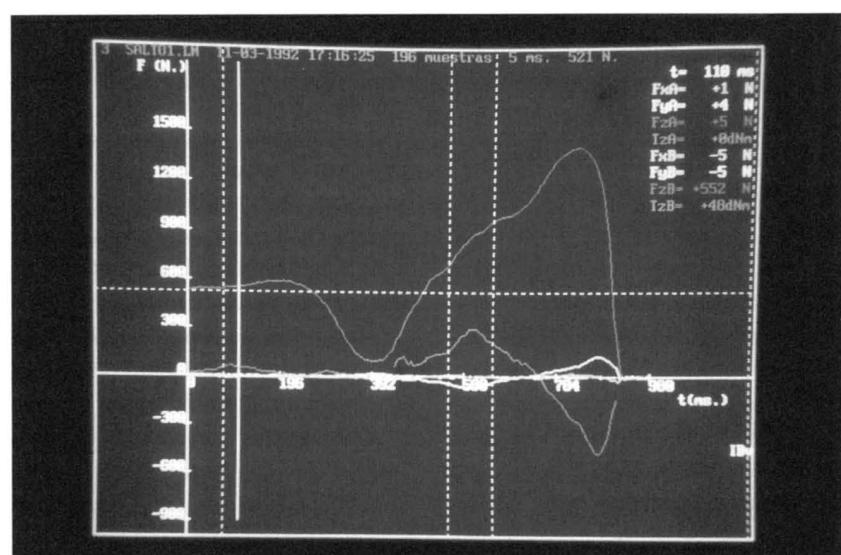
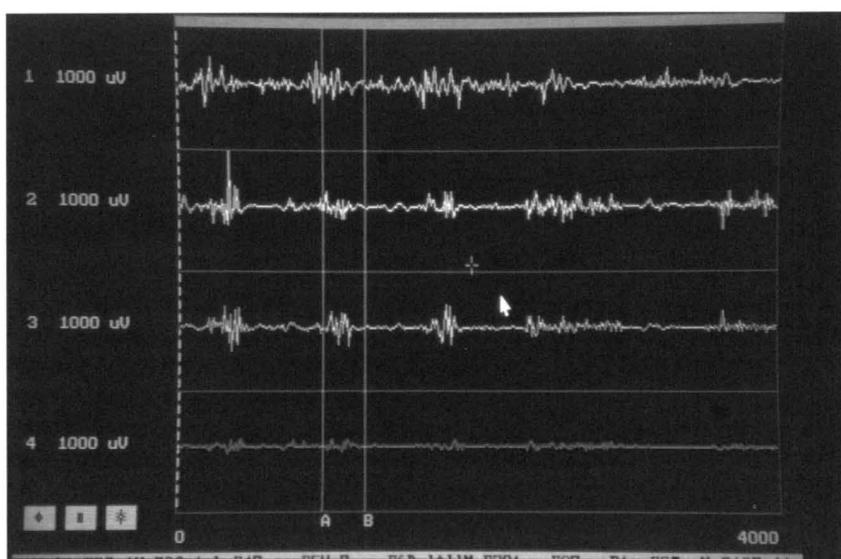
to. En otros casos las mediciones se realizan en situación de laboratorio ya que los reglamentos de competiciones no permiten la instalación de ciertos equipamientos durante las mismas. Las mediciones directas más frecuentemente utilizadas hacen referencia a Electromiografía, a plataformas de fuerzas y a células fotosensibles.

Electromiografía

El estudio de la función muscular a través de la investigación de la señal eléctrica generada por los músculos es lo que se denomina Electromiografía o E.M.G. Como es sabido, los músculos generan un potencial de acción muscular, que puede ser registrado mediante diferentes tipos de electrodos: De inserción (aguja y alambre) y de superficie.

Los potenciales de acción muscular están íntimamente relacionados con las tensiones que desarrollan las fibras musculares y, a su vez, con la fuerza que los músculos ejercen sobre sus inserciones. El tipo de E.M.G. empleada en biomecánica es de superficie, que posee la ventaja de no ser de tipo invasivo, pero que también tiene algunas limitaciones como lo es el hecho de que los músculos estudiados deben ser superficiales, ya que el potencial de acción registrado por este tipo de electrodos es el que fluye hacia la piel, no registrándose cuando la profundidad del músculo es de más de 20 mm.

Las señales registradas pueden ser almacenadas en diferentes formatos magnéticos y posteriormente tratadas. El tratamiento de estas señales es diferente en función del tipo de análisis, si bien lo más común en nuestro ámbito es el filtrado e integración de la señal para la realización de análisis temporales, para calcular el valor medio de la señal durante los períodos establecidos, valor que viene dado en unidades de micro voltios, y el cálculo de la superficie encerrada bajo la curva que viene dado en



unidades de micro voltios por segundo. Con frecuencia y dada la dificultad de valoraciones totalmente cuantitativas de las señales electromiográficas, se realizan valoraciones cualitativas basados en el Sistema IDANCO (Claris et al. 1988).

La EMG permite conocer cuáles son los músculos que participan en una determinada acción y la intensidad con la que lo realizan. La EMG también se utiliza en trabajos relacionados con la respuesta muscular a la fatiga, conductividad nerviosa, etc.

Los análisis electromiográficos en biomecánica normalmente van acompañados de otros tipos de análisis como son los dinamométricos, o cinemáticos, los cuales se realizan de forma sincrónica y facilitan el establecimiento de relaciones causa-efecto en el movimiento.

Plataformas de fuerzas

Las plataformas dinamométricas son un instrumento de precisión diseñado para la medición de las fuerzas que se ejercen contra ellas. Las fuerzas ejerci-

das se pueden descomponer en sus componentes de dirección (vertical, antero-posterior y transversal). El conocimiento de la magnitud, la dirección y el punto de aplicación permiten calcular otras muchas variables mecánicas que intervienen y ayudan a describir el movimiento.

Este equipamiento tiene innumerables aplicaciones, pero posiblemente el movimiento en el que más se ha utilizado en biomecánica ha sido para el estudio de la marcha humana, lo que ha permitido obtener un patrón de movimiento para la marcha normal y para diferentes discapacidades relacionadas con el aparato locomotor. Diversos estudios relacionados con el equilibrio humano también han utilizado este instrumental como medio de evaluación, al igual que otros movimientos como carrera, saltos y lanzamientos.

Una vez medidas las fuerzas ejercidas sobre las plataformas, con cálculos y modelos mecánicos, más o menos sofisticados, se pueden establecer aproximaciones de las fuerzas actuantes en diferentes articulaciones del cuerpo humano para el estudio de las solicitudes mecánicas a que se ven sometidas las diferentes estructuras anatómicas.

Células fotosensibles

Las células fotosensibles nos permiten realizar mediciones del tiempo con una gran precisión, lo que unido al conocimiento de la distancia entre ellas, nos proporciona la medición de velocidades y aceleraciones en diferentes movimientos.

Este sistema de medición es de una gran sencillez tecnológica y tiene un coste muy bajo, por lo que cada vez es más utilizado en la valoración de técnicas deportivas en las cuales los parámetros velocidad y aceleración son determinantes en el rendimiento.

Las células fotosensibles también son utilizadas para la medición de los tiempos de reacción y para el control de la variable velocidad en diferentes diseños experimentales.

El instrumental referenciado y otros equipamientos que se podrían añadir, sólo sirven para medir variables cinemáticas y dinámicas, y es a partir de aquí donde el investigador, el técnico deportivo y el médico, según el caso, deben con sus diseños experimentales, intentar establecer relaciones causa-efecto, para introducir modificaciones en los procesos de entrenamiento que intenten mejorar los resultados deportivos, o proponer las

medidas preventivas que puedan evitar ciertas lesiones o, al menos, disminuirlas al máximo.

Bibliografía

ABDEL-AZIR,Y.J. & KARARA,H.M. (1971). *Directer linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close/range photogrammetry*. A.S.P. Symposium on close/range photogrammetry. American society of Photogrametry: 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). *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*. I.B.V. Valencia.

WINTER, D. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Son. New York.