

## EL ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LAS TÉCNICAS DEPORTIVAS

*Fernando Vizcaíno*



Estoy convencido que, y como yo otros muchos, se habrán preguntado cómo es posible que un ser humano pueda llegar a saltar 8,90 m. en longitud o 2,41 m. en altura, por citar dos ejemplos de hazañas deportivas que constituyen en estos momentos otros tantos récords del mundo.

El interrogante casi queda sin respuesta cuando comparamos estas marcas con los casi 4 m. o 1,30 m. que la media de nosotros sería capaz de lograr en cada uno de los saltos.

Sin embargo los datos son reales y hoy casi se conocen las respuestas.

Al margen de las portentosas capacidades potenciales de los atletas que ostentan dichos récords, que les diferencian de la población normal, del mismo modo que entre sí y del resto de los campeones de otras disciplinas, los actuales métodos de entrenamiento permiten obtener rendimientos sorprendentes en los deportistas.

Ello ha sido posible merced al soporte científico día a día en aumento.

En síntesis, el entrenamiento deportivo se estructura en dos grandes apartados o fases. «Mejora de las capacidades del sujeto» y «Optimización de las capacidades en función del objeto deportivo propuesto».

La técnica deportiva es en sí misma un exponente del proceso de optimización. Como Donskoi<sup>1</sup> señala: «La técnica deportiva es la forma de la acción motora, en la actividad deportiva, dirigida al logro de un alto resultado».

‘Siguiendo al mismo autor, «una buena técnica garantiza la solución de la tarea motora con el mejor aprovechamiento de las posibilidades físicas y técnicas del deportista, para

el logro de un alto resultado deportivo».

### **Las leyes fundamentales aplicadas a la actividad motora**

La biomecánica juega un papel fundamental en la búsqueda de la «mejor solución»: la tarea motora.

La biomecánica se ocupa del estudio de los movimientos humanos desde el punto de vista de las leyes de la física. En el caso del deportista, dicho estudio implicará la efectividad del sistema de movimientos para alcanzar el máximo resultado. La biomecánica de la técnica deportiva se ocupa, por tanto, del proceso de *optimización mecánica* del cuerpo humano del deportista para la consecución del máximo resultado. Sin perjuicio de la biomecánica de una técnica deportiva que con carácter general permite establecer los principios o supuestos biomecánicos que han de cumplirse para obtener el logro deportivo propuesto, el proceso de optimización tiene realmente significado en su aplicación a un deportista concreto. Esto es, podemos establecer los niveles general e individual dentro del proceso de optimización del que se ocupa la biomecánica de las técnicas.

Ambos niveles son inseparables y nos permiten afirmar que la biomecánica de la técnica deportiva debe atenderlos por igual, pues son tareas en un estudio biomecánico tanto la determinación de la eficacia del sistema de movimiento como el análisis de las desviaciones que en él puedan producirse.

La determinación de la eficacia o el análisis de las desviaciones no es tarea fácil, como no es tarea fácil conseguir 8,91 m. en longitud, a pesar que tan sólo sea 1 cm. la longitud que permitiría establecer un nuevo récord.

Para lograrlo, muchos son los intentos realizados, cientos de horas empleadas en estudios y sofisticados medios instrumentales han sido puestos a disposición de los científicos.

La evolución deportiva en las últimas décadas ha ido de la mano de la revolución tecnológica. Como el profesor Eusebio Esparza decía en el número extraordinario de diciembre de esta revista, tal vez haya sido la biomecánica el más claro exponente de esa realidad. Potentísimas cámaras cinematográficas permiten abordar complejos cálculos de los movimientos de los atletas. Sofisticados sistemas electróni-

cos hacen posible obtener registros dinamográficos precisos.

De entre los métodos utilizados para el estudio biomecánico de las técnicas, cabe destacar dos principalmente: la cinematografía y la dinamometría (plataformas de fuerzas).

#### **El método cinematográfico**

El método cinematográfico consiste, obviamente, en filmar los movimientos de un atleta con cámaras que permiten velocidades de filmación elevadas, 50, 100, 200, 500 o más fotogramas por segundo (existen cámaras especiales que permiten obtener registros de 10.000 o más f.p.s. y que se emplean en deportes de rapidísima ejecución, golf, tenis, etc.)

La posibilidad de obtener información del movimiento tan pormenorizada en el tiempo, responde de por sí, al margen de los posteriores cálculos, una mejora cualitativa en las posibilidades de observación del atleta y entrenador. No obstante, la información más completa es la que ofrece datos cuantificados susceptibles de comparar objetivamente a través de los períodos del entrenamiento.

Por tratarse de una sucesión de fotogramas que registran las posiciones del sujeto u objeto en el tiempo, la cinematografía se aplica fundamentalmente para la determinación de las constantes cinemáticas del movimiento, esto es, trayectorias, velocidades y aceleraciones. Por tanto, al no disponer de información entre cada fotograma, interesan frecuencias de filmación elevadas para que los intervalos de tiempo sean mínimos.

El fotograma, por otra parte, recoge la proyección en el plano de la película de una imagen en tres dimensiones.

Para construir la imagen tridimensional se necesitan al menos dos planos de proyección. Ello se consigue incorporando una segunda cámara que filme simultáneamente a la primera.

La construcción de la imagen tridimensional es compleja, y precisa laboriosos cálculos matemáticos que dilatan en el tiempo la posibilidad de ofrecer con prontitud los datos del análisis. Papel fundamental juegan los ordenadores en esta fase del análisis.

Con el fin de que se comprenda mejor el papel que juegan los ordenadores, expongo a continuación el proceso seguido en nuestro laboratorio del Departamento de Estructu-

ra y Análisis del Movimiento Humano y Técnica Deportiva del INEF de Madrid.

Una vez concluidas las fases de filmación y revelado de la película, ésta se proyecta a fotograma sobre un digitalizador (digitalizar). Mediante un cursor, se localizan 21 puntos en el atleta que se corresponden con otros tantos centros de rotación de las articulaciones. Estos puntos, o mejor expresado, las coordenadas de estos puntos, son determinadas por el digitalizador, que instantáneamente las envía a un almacén de memoria previamente establecido en el ordenador y en ella permanecen hasta que sean rescatadas para posterior tratamiento de acuerdo con el programa que se trate. Para que puedan hacerse una idea del ahorro de tiempo, les diré que la obtención de dichas coordenadas en una moviola o similar, es del orden de 15 veces más lento. Imagínense la ganancia de tiempo conseguida en el total de los fotogramas que corresponden a un salto que dura unos 5 segundos, a 100 fotogramas por segundo. O sea, un salto con digitalizador supondría unas 10 horas de trabajo y 6 días y 6 horas con moviola o similar trabajando las 24 horas del día. Evidentemente, existen instrumentos con los que se obtienen resultados intermedios.

Las coordenadas del atleta para el conjunto de centros articulares nos permiten conocer, en definitiva, «las medidas de cada segmento del atleta». Conforme a los porcentajes de masa de cada segmento corporal y dichas medidas, estamos en disposición de abordar el cálculo del conjunto de variables cinemáticas, además de centros de gravedad, y algunas variables dinámicas.

La elaboración de los programas adecuados es tarea en sí misma compleja, pero enormemente productiva, ya que, una vez más, permite que el ordenador nos ofrezca los resultados de inmediato y de la forma que más nos interese. Esto es, numérica o gráficamente conforme a la variable estudiada o que mejor convenga al entrenador. Por ejemplo, el plotter nos dibuja de inmediato la secuencia de movimientos (cinogramas), trayectorias de distintos puntos, etc. En este aspecto cabe señalar una de las mayores y más interesantes aplicaciones que nos ofrece el disponer de un instrumento de cálculo tan rápido.

Como he comentado anteriormente, un análisis cinematográfico da una

información fidedigna en el caso de ser tridimensional. La elaboración de la imagen tridimensional, es hoy una realidad en nuestro Departamento y diría que en toda España, gracias a nuestro colaborador Javier Álvarez Ortiz, becario del ICEF y D y realizado íntegramente en el INEF de Madrid.

De esta forma disponen de información en los tres planos del espacio y, lo que es mucho más interesante, en cualquier otro plano combinado como si la cámara estuviera en lugares que nunca ha estado. ¡Imagínese observar a un lanzador de martillo como si el observador estuviera situado en el propio martillo...! Esta y muchas otras posibilidades amplían la información que puede ofrecerse a atleta y entrenador acerca de la ejecución de la técnica deportiva.

La principal ventaja al emplear métodos cinematográficos, radica en que no se perturban las condiciones que concurren durante el movimiento en competición. O sea, no es necesario simularlas en el laboratorio, donde casi nunca el deportista ejecuta de la misma manera, al carecer de los estímulos y motivaciones de la competición.

Sin embargo es un método no muy rápido de análisis, a pesar del empleo de ordenadores. Estamos seguros que la aplicación del vídeo subsanará en parte este inconveniente. Lamentablemente son escasísimos y de muy alto precio los vídeos que toman más de 25 imágenes por segundo. Aun así, pronto sustituirán a la cinematografía en el análisis de los movimientos.

#### **El método dinamométrico**

La dinamometría, y en particular el empleo de las plataformas de fuerza, nos permite determinar variables dinámicas, fuerzas aplicadas, impulsos mecánicos, etc., de difícil cálculo por métodos cinematográficos. Como su nombre indica, las plataformas de fuerzas son unas planchas o plataformas que descansan normalmente sobre cuatro apoyos. En dichos apoyos están localizados los sensores de fuerza, que pueden ser de distintos tipos, cristal de cuarzo, galgas tensiométricas, etc.

Este método ofrece información acerca de la fuerza total ejercida en diferentes instantes de tiempo. Por tanto, nos permite conocer los impulsos mecánicos aplicados.

También podemos conocer los tres componentes de la fuerza transversal ( $F_x$ ), horizontal ( $F_y$ ), y vertical

( $F_z$ ), punto de aplicación, momento respecto al eje vertical y lógicamente los tres componentes del impulso  $f(t)$ ,  $F_x(t)$ ,  $F_y(t)$ ,  $F_z(t)$ .

La plataforma nos ofrece información dinámica en el extremo de la cadena cinética corporal que contacta con ella. No obstante, si estos datos son combinados con los obtenidos por cinematografía, tal como aceleraciones articulares, podemos resolver las ecuaciones dinámicas de los segmentos corporales, a partir del más próximo a la superficie de apoyo.

El conocimiento de las variables dinámicas es imprescindible si queremos aproximarnos a la realidad biomecánica de la técnica deportiva, ya que permite enlazar con el comportamiento mecánico del aparato locomotor humano, especialmente con la mecánica muscular.

Los músculos, como órganos generadores de fuerza, constituyen un elemento fundamental dentro del proceso de entrenamiento, y el biomecánico debe ofrecer al entrenador y atleta el mayor número de datos posibles sobre el comportamiento mecánico de los segmentos corporales en la ejecución de una técnica determinada. Pues es bien sabido que la respuesta mecánica de un músculo es muy diferente según el estado de excitabilidad que presente de acuerdo a las sollicitaciones a que esté sometido.

#### **La creación de nuevas técnicas**

Por último, considero muy interesante resaltar la posibilidad que ofrece la biomecánica en la «creación de nuevas técnicas». Ello se basa en la posibilidad de elaborar matemáticamente nuevos movimientos antes que sean probados por el deportista.

Consiste, en definitiva, en simular situaciones o movimientos artificialmente y estudiar las implicaciones biomecánicas que supondrían a un deportista, o en general a la técnica en cuestión. De esta manera el atleta podría ensayar cada elemento del conjunto que constituye el nuevo movimiento creado con disminución de los factores de riesgo y dificultad. En resumen, la biomecánica juega un papel fundamental en la evaluación y control de la técnica deportiva, así como en la investigación de nuevas formas de movimiento que constituirán la técnica del futuro.