



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA
Consejo Superior de Deportes

EL APOYO BIOMECÁNICO AL RENDIMIENTO DEPORTIVO

*Lanzamiento atlético, carreras, relevos,
natación, tenis y tiro*

22

INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DEL DEPORTE

icad



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA
Consejo Superior de Deportes

EL APOYO BIOMECÁNICO AL RENDIMIENTO DEPORTIVO

*Lanzamiento atlético, carreras, relevos,
natación, tenis y tiro*

22

icd

SERIE ICd DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL DEPORTE

La Serie ICd, de Investigación en Ciencias del Deporte, es una publicación del Consejo Superior de Deportes que pretende satisfacer la demanda de información científica especializada, difundiendo los trabajos que, por su calidad, actualidad y rigor científico, pueden ser de interés para los especialistas.

Los trabajos que se publican en ICd son seleccionados por un Comité Científico, están sujetos a la «Normativa General para la presentación de trabajos» del Programa de publicaciones del Consejo Superior de Deportes y, en la mayoría de los casos, son producto de las becas y ayudas a la investigación que concede el C.S.D.

Las referencias bibliográficas correspondientes a los artículos publicados en la serie ICd, elaboradas por el Servicio de Documentación, se remiten para su inclusión en la base de datos bibliográfica sobre deportes ATLANTES, fruto de la colaboración entre distintos centros de documentación e información y bibliotecas deportivas españolas e iberoamericanas. Esta base de datos se encuentra en uno de los dos CD-ROM de Silver Platter que albergan además SPORTDISCUS y HERACLES y también puede consultarse a través de Internet: <http://www.uida.es/basedatos/atlanis.html>.

Director Editorial:

José Luis Hernández Vázquez

Coordinación Editorial:

Erika Schwarz

Araceli García Martín

Consultores Científicos:

Fernando Andrés Pérez, Alicia Canda, Javier Durán, Amelia Ferro Sánchez, Mónica de la Fuente, Manuel García Ferrando, Rafael Manso, Agustín Meléndez, Ramiro Merino Merchán, Cecilia Rodríguez Bueno, Silvio Rubio, Luis M. Ruiz Pérez, Fernando Sánchez Bañuelos, Benilde Vázquez.

Unidad Editora:

Ministerio de Educación y Cultura

Consejo Superior de Deportes

© 1999

Edición no venal.

NIPO: 663-09-024-0

Depósito legal: M-14322-2009

Distribución e información:

Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte

C/ del Greco, s/n Tel. 91/589 05 27/28

28040 Madrid Fax 91/544 81 22

Web: <http://www.mec.es/csd>

e-mail: csd.publicaciones@csd.mec.es

Venta:

Librería del B.O.E.

C/ Trafalgar, 29 Tel. 91/538 21 11

28071 Madrid Fax 91/538 21 21

NOTA: Los trabajos presentados expresan el criterio y valoraciones de sus autores sin que el Consejo Superior de Deportes comparta necesariamente las tesis o conceptos expuestos en ellos. Permitida la reproducción parcial citando la fuente.

ÍNDICE

EL APOYO BIOMECÁNICO AL RENDIMIENTO DEPORTIVO. LANZAMIENTOS ATLÉTICOS, CARRERAS, RELEVOS, NATACIÓN, TENIS Y TIRO

Compiladora: Amelia Ferro Sánchez.

	<u>Pág.</u>
Efecto del peso del martillo sobre ciertos factores biomecánicos que determinan la eficacia del lanzamiento <i>Gutiérrez, M. y cols.</i>	7
Influencia del lanzamiento con discos de diferente peso en la técnica individual <i>Ferro, A. y cols.</i>	21
Estudio biomecánico del lanzamiento de peso en competición. Su aplicación a la construcción de ejercicios específicos de entrenamiento <i>Grande, J. y cols.</i>	37
Metodología para el análisis biomecánico de los relevos de 4 x 100 metros de atletismo. Implicaciones en la estrategia de carrera <i>Ferro, A. y cols.</i>	65
Análisis de la transmisión del testigo en la prueba de relevos de 4 x 100 metros <i>Rocandío, V. y cols.</i>	79
Análisis fotogramétrico de la cinemática del retropié del corredor <i>Soto, V. M. y cols.</i>	89
El apoyo biomecánico a los deportes con solicitud de cadena cinemática del miembro superior (natación, jabalina, tenis y boccia) <i>Balius, X. y cols.</i>	105
Una propuesta para la corrección técnica en tiro: Precisión y velocidad <i>García, F. Y cols.</i>	113

ICd NÚM. 22

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA
Consejo Superior de Deportes

EFFECTO DEL PESO DEL MARTILLO SOBRE CIERTOS FACTORES BIOMECÁNICOS QUE DETERMINAN LA EFICACIA DEL LANZAMIENTO

EFFECT OF THE WEIGHT OF THE HAMMER
ON CERTAIN BIOMECHANICAL FACTORS WHICH
DETERMINE THE EFFICIENCY OF THE THROW

*Gutiérrez, M.
Rojas, F. J.
Soto, V. M.*

Dirección para correspondencia:

Marcos Gutiérrez Dávila
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad de Granada
Ctra. Alfácar, s/n. Polígono "La Cartuja"
Avda. Carlos III s/n
18011 GRANADA
E-mail: marcosgd@platon.ugr.es



Marcos Gutiérrez Dávila: Licenciado en Educación Física y Deportiva por el Instituto Nacional de Educación Física de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid (1984). Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad de Granada (1990). Profesor en Biomecánica Deportiva en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la U. de Granada. Director del Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Universidad de la Granada. Autor de nueve libros y treinta artículos relacionados con la biomecánica deportiva. Coordinador o Investigador principal de ocho proyectos de investigación subvencionados. Director de siete tesis doctorales.



Francisco Javier Rojas Ruiz: Profesor asociado de Biomecánica, Doctor en Educación física y Deportiva, Dpto. Ed. Física y Dep., Universidad de Granada.



Víctor Manuel Soto Hermoso: Profesor titular de Biomecánica, Doctor en Educación Física y Deportiva, Dpto. Ed. Física y Dep., Universidad de Granada.

Resumen: El propósito de este estudio es comprobar como afectan las modificaciones del peso del martillo (1 kg inferior y superior al reglamentario) sobre ciertos factores biomecánicos que determinan la eficacia del lanzamiento. Especialmente nos interesa conocer si los cambios en dichos factores producen diferencias significativas entre los lanzadores o, por el contrario, los cambios afectan solo al modelo individualizado de lanzamiento y de forma diferente en cada uno de los lanzadores.

Para llevar acabo dicho estudio se han utilizado técnicas fotogramétricas tridimensionales, basadas en las filmaciones de vídeo a 50 imágenes por segundo. Se han filmado doce lanzadores de martillo (N = 12) de élite nacional durante dos concentraciones realizadas en Madrid.

Los resultados han puesto de manifiesto que las modificaciones en el peso del martillo, producen unos cambios estables y generales en el tiempo empleado por el lanzador para realizar cada giro, con respecto a los lanzamientos realizados con el martillo reglamentario, aunque dichos cambios en la consistencia temporal producen interferencias o modificaciones en los factores que determinan la eficacia del lanzamiento. En este sentido, la utilización de pesos diferentes debe de realizarse conociendo el efecto que produce sobre los factores que determinan la eficacia de cada lanzador, en caso contrario es posible que obtengamos efectos no deseados en la estructura del de competición.

Palabras Clave: Biomecánica, lanzamiento de martillo, cinemática, fotogrametría 3D.

Abstract: The purpose of this study was to discover how modifications in the weight of the hammer (1kg less or more than the regulation weight) affect certain biomechanical factors which determine the efficiency of the throw. We were especially interested in finding out if changes in these factors produced significant differences among throwers or, on the contrary, the changes only affected the individualised model of throwing and in a different way in each thrower.

To carry out this study we used three dimensional photogrametric techniques based on video tapes filmed at 50 images per second. Twelve national elite hammer throwers (N = 12) were filmed during two team camps held in Madrid.

The results showed that the modifications in the weight of the hammer produced generally stable changes in the time used by the thrower to carry out each turn, with respect to the throws carried out with the regulation hammer, and these changes in the timing produced interference or modifications in the factors which determine the efficiency of the throw. In this sense, the use of different weights should be applied with a knowledge of the effect which it produces on the factors which determine the efficiency of each thrower, if not results may be obtained which are not those which are desired within the competition structure.

Key Words: Biomechanics, hammer throw, cinematics, 3D photogrametry.

INTRODUCCIÓN

El lanzamiento de martillo se puede considerar como uno de los gestos técnicos que utiliza más tiempo para conseguir la máxima velocidad final posible del objeto a lanzar. Para ello el lanzador realiza dos o tres volteos preliminares en que los dos pies se mantienen en contacto con el suelo, seguidos de tres o cuatro giros, donde todo el lanzador gira con el martillo, simultáneos a un desplazamiento lineal del sistema lanzador y martillo y un cambio en el plano de inclinación de éste, con el propósito de obtener un ángulo adecuado de salida.

Para llevar a cabo el aprendizaje y mejora de este complejo gesto técnico se ha utilizado tradicionalmente el *método conjuntado de contrastes*, encaminado a la adquisición de un programa motor adecuado, mediante la utilización alternativa de lanzamientos con martillos ligeros (entre 5 y 6.8 Kg) y pesados (entre 8 y 32 Kg), así como del reglamentario (7.260 Kg) (Durán, 1993).

El citado método de contrastes puede tener su origen en las teorías tradicionales del comportamiento motor del tanteo de los resultados y errores, además de intentar producir un ajuste entre el compromiso de la fuerza y la velocidad requerida en el lanzamiento. En este sentido se ha asumido que la utilización de martillos con pesos por debajo del reglamentario disminuyen la resistencia y hace que se incremente la velocidad de giro. Siguiendo a Durán (1993), este hecho presupone que pueda existir una transferencia o memoria inmediata para crear una influencia positiva sobre la velocidad de ejecución en el gesto realizado con el martillo reglamentario. Por el contrario, el incremento del peso del martillo permite aumentar la resistencia y disminuir la velocidad de giro, lo que supone la necesidad de aumentar la fuerza aplicada, así como la estabilidad del lanzador.

Aunque es posible asumir que la utilización de martillos diferentes al reglamentario durante ciertas etapas del aprendizaje de la técnica del lanzamiento de martillo o en ciertos periodos de entrenamiento, incidirán de forma positiva en el compromiso de la fuerza y la velocidad requerida, no es menos cierto que dichos cambios en el peso del implemento pueden producir ciertas interferencias en el programa motor de lanzamiento. En este sentido Nikolov (1987) ha encontrado modificaciones en el ángulo de inclinación del tronco del lanzador cuando se modifican los pesos del martillo y la longitud del cable.

Losch (1991) ha puesto de manifiesto que el incremento de la resistencia afecta a la dinámica del lanzamiento de martillo, produciéndose interferencias no deseadas en la estructura del gesto que deben ser conocidas y controladas, especialmente cuando se utilizan pesos superiores a 2 Kg con respecto al reglamentario. Aunque dicho autor asume el peligro que tienen dichos cambios en el peso del martillo sobre la estructura del gesto de competición, cree necesario realizar lanzamientos con martillos de 1 Kg por encima del reglamentario en las etapas de entrenamiento de fuerza máxima.

De los estudios desarrollados por Bondarchuk, Ivanova & Vinnitchuk (1977) y Bakarinov (1988, 1990), es posible determinar como afectan los cambios producidos en el peso del martillo sobre el modelo individualizado de lanzamiento, con el propósito de obtener las condiciones de peso más adecuadas para cada lanzador. Es necesario destacar el aspecto individualizado, ya que los cambios que se producen en la estructura del movimiento no afecta a todos los lanzadores de igual manera. Considerando que la técnica de lanzamiento es

el producto de una solución particular a los compromisos entre factores interactuantes en cada ejecución, también los cambios producidos por las modificaciones de las resistencias externas deben ser individualizados.

El propósito de este estudio es comprobar como afecta el peso del martillo sobre ciertos factores biomecánicos que determinan la eficacia del lanzamiento. Especialmente nos interesa conocer si los cambios en dichos factores producen diferencias significativas entre los lanzadores o, por el contrario, si los cambios afectan solo al modelo individualizado de lanzamiento y de forma diferente en cada uno de los lanzadores.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES BIOMECÁNICOS

Atendiendo a las posiciones que adopta el lanzador en cada vuelta, ésta se puede dividir en dos periodos claramente diferenciados: a) **doble apoyo**, donde los dos pies permanecen en contacto con el suelo, y b) **apoyo único**, donde el lanzador gira manteniendo un solo apoyo en el suelo. Históricamente se ha dedicado una especial atención a estos dos periodos, basándose en la creencia general de que el martillo solo puede acelerarse durante el periodo de doble apoyo, no teniendo el lanzador la posibilidad de influir activamente sobre la velocidad del martillo durante el periodo de apoyo único. En este sentido consideramos necesario analizar los cambios que se producen, debidos a la modificaciones del peso del martillo, en los factores biomecánicos asociados a dichos periodos.

Al margen de realizar el análisis temporal de los periodos indicados en cada giro, es precisamente el valor del espacio recorrido, en términos de ángulos azimutales, durante el periodo de doble apoyo y la influencia activa del lanzador durante la fase de apoyo único, los factores más importantes que se han utilizado para analizar la técnica del lanzamiento de martillo, por lo que, en este estudio, se analizará su variabilidad con pesos diferentes al reglamentario.

Aunque, sin lugar a dudas, parece ser que dichos factores son relevantes para la eficacia del lanzamiento, no parecen ser los únicos, también es preciso saber cual es el radio de giro y como evoluciona en cada vuelta, sin tener en cuenta otros factores significativos, como los cambios producidos en el plano de inclinación del martillo, durante el lanzamiento.

MÉTODO

Se han analizado doce lanzadores de martillo entre los mejores de la élite nacional en una sesión de lanzamientos durante dos concentraciones de la Selección Española, celebradas en Madrid durante los meses de enero y abril de 1996. En la concentración celebrada en el mes de Enero, después de un calentamiento previo, cada uno de los lanzadores debería realizar un bloque de diez lanzamientos con el peso reglamentario. A continuación y después de adaptarse a un martillo de 1 Kg de masa inferior al reglamentario, se realizó un segundo bloque de diez lanzamientos. Finalmente, y después de una segunda adaptación a un martillo de 1 Kg de masa mayor que el reglamentario, se realizó un tercer bloque de diez lanzamientos con dicho martillo. Durante la concentración celebrada en el mes de Abril se invirtió el orden de los bloques donde se realizaron lanzamientos con pesos diferentes al reglamentario.

Se filmaron los treinta lanzamientos de cada uno de los lanzadores mencionados, analizándose posteriormente los tres lanzamientos en el que se obtuvo la mayor distancia con cada uno de los tres pesos indicados (reglamentario, 1 Kg inferior al reglamentario y 1 Kg superior al reglamentario).

Con la utilización del **Método Inverso** y el apoyo de las técnicas Cinematográficas Tridimensionales, se han cuantificado algunos de los factores más significativos para el resultado del lanzamiento, así como la comparación de los modelos de lanzamiento obtenidos con los diferentes pesos del martillo. Utilizando para el análisis dos cámaras de vídeo, Sonics V-200, calibrada mediante temporizador externo a 50 campos por s. y obteniéndose posteriormente una imagen por campo.

El proceso de computarización de los datos se realizó en cuatro fases más el cálculo de los registros específicos: **Digitalización y almacenamiento** de las coordenadas planas correspondientes a los 22 puntos que componen la estructura alámbrica del sistema lanzador más martillo. En una segunda fase, los datos correspondientes a las coordenadas planas de los puntos digitalizados de cada una de las películas fueron **suavizados, interpolados y sincronizados** con un intervalo de tiempo de 0.01 s., mediante la técnica de Splines de quinta potencia, desarrolladas por Wood & Jennings (1979) y adaptadas para este estudio por Gutiérrez, Soto & Martínez, (1990).

En una tercera fase se obtuvieron las **Coordenadas espaciales** de cada uno de los 22 puntos digitalizados con respecto a un sistema de referencias *Inercial*, utilizando para ello las técnicas de Transformación Lineal Directa (DLT) descritas por Abdel-Azir & Karara (1971). Posteriormente, a las coordenadas espaciales obtenidas se le aplicó una matriz de transformación equivalente al desplazamiento horizontal del sistema lanzador más martillo, obteniéndose así, las coordenadas espaciales referidas a un sistema de referencias al que llamaremos *cuasi-inercial* que se desplaza con el Centro de gravedad del sistema lanzador más martillo en cada vuelta.

Para el cálculo del Centro de Gravedad del lanzador se ha utilizado el modelo de 14 segmentos y los parámetros inerciales propuestos por Clauser, McConville & Young (1969) y para el cálculo del CG del sistema lanzador más martillo se recurre a la expresión **E-1**.

$$\mathbf{E-1.} \quad Cg_s = \frac{(Cg_l \cdot G_l) + (C_m \cdot G_m)}{G_l + G_m}$$

Donde Cg_s , corresponde al Centro de gravedad del sistema lanzador más martillo, Cg_l y C_m , a las coordenadas del Cg. del lanzador y martillo, respectivamente y G_l y G_m , las masas del lanzador y martillo, respectivamente.

Para el cálculo del ángulo que define la inclinación del martillo se recurre a las coordenadas espaciales que tiene el CG del martillo en su punto alto y bajo de cada vuelta. Dicho desarrollo supone calcular un ángulo determinado entre la recta que une dichos puntos y su proyección en el plano horizontal (Gutiérrez & Soto, 1994).

Para el cálculo del radio del martillo se obtiene el centro geométrico de las posiciones que adopta el martillo en cada giro con respecto al sistema de referencia cuasi-inercial que se

desplaza asociado al lanzador, siguiendo la metodología propuesta por Dapena (1986). Conocida la posición espacial de dicho centro geométrico se obtiene el radio medio durante los periodos de doble y único apoyo.

Para conocer el desplazamiento del martillo durante los períodos de doble apoyo y apoyo único se utiliza el concepto de ángulo azimutal, introducido por Samozvetov (1971), donde el lanzamiento se observa desde una perspectiva superior con una circunferencia graduada.

Para nuestro estudio, y con el fin de poder comparar a los lanzadores entre sí, los 180° de dicha circunferencia graduada se ha hecho coincidir con la dirección y sentido del desplazamiento del CG del sistema lanzador más martillo sobre el círculo de lanzamiento. Para definir dicho desplazamiento se ha realizado una regresión lineal de las coordenadas horizontales con respecto a las transversales del CG del Sistema

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los datos correspondientes a las diferencias encontradas en el tiempo empleado por el lanzador para realizar los lanzamientos, utilizando martillos con pesos de 1Kg inferior y superior al reglamentario, con respecto al tiempo empleado en el lanzamiento que ha utilizado el peso reglamentario .

Tabla 1. *Tiempo total*

	Peso superior	Peso inferior
N	10	12
X	0.09	-0.09
SD	0.06	0.1
F	19.6*	19.6*

* $p < 0.001$

Se comprueba como la utilización de pesos inferiores al reglamentario supone una reducción significativa en el tiempo empleado por los lanzadores para realizar el lanzamiento, mientras que la utilización de pesos superiores al reglamentario implica un incremento en el tiempo, con respecto al tiempo empleado en los lanzamientos realizados con los pesos reglamentarios, con un nivel de significación de $p < 0.001$.

Con el propósito de comprobar el efecto que ha tenido dicha modificación temporal sobre cada uno de los giros, así como sobre cada una de las fases que determinan los giros, en la Tabla 2 se presenta el efecto temporal que ha tenido el lanzamiento realizado con un martillo de 1 Kg superior al reglamentario en cada uno de los giros, discriminando las dos fases que determinan cada giro y en la Tabla 3 se presenta este mismo análisis temporal correspondiente al lanzamiento con martillos de 1 Kg inferiores al reglamentario.

Tabla 2. *Tiempos parciales con el peso superior*

	N	Giro 1°	Giro 2°	Giro 3°	Giro 4°
Tiempo en apoyo simple	X	0.003	0.009	0.017	0.029
	SD	0.04	0.03	0.03	0.05
	F	3.02*			
Tiempo en apoyo doble	X	0.004	0.01	0.016	-0.013
	SD	0.03	0.02	0.03	0.05

* $p < 0.05$

Tabla 3. *Tiempos parciales con el peso inferior*

	N	Giro 1°	Giro 2°	Giro 3°	Giro 4°
Tiempo en apoyo simple	X	0.01	0.009	0.017	0.029
	SD	0.02	0.03	0.03	0.05
Tiempo en apoyo doble	X	-0.04	0.01	0.016	-0.013
	SD	0.04	0.02	0.03	0.05
	F	10.01*	10.29*	5.78**	3.55**

* $p < 0.001$; ** $p < 0.005$

Se comprueba que cuando se realiza el lanzamiento con martillo de peso superior al reglamentario sólo se encuentran ciertas diferencias significativas en el primer giro y en la fase de apoyo simple ($p < 0.05$), mientras que en el resto de giros y fases no se encuentran diferencias significativas al 95%, aunque en todos los giros y periodos el tiempo empleado es superior al que se obtiene cuando se realiza el lanzamiento con el peso reglamentario, exceptuando el tiempo empleado durante el periodo de doble apoyo del último giro, el cual es ligeramente inferior al realizado con el peso reglamentario.

Cuando se realiza el lanzamiento con el martillo de 1 kg inferior al reglamentario se encuentran claras diferencias significativas en las fases de doble apoyo de los dos primeros giros ($p < 0.001$) y ciertas diferencias en los apoyos dobles de los dos siguientes giros ($p < 0.05$), no encontrándose diferencias en las fases de apoyo único. Dichas diferencias temporales indican que con la utilización de martillo ligeros, el tiempo empleado en el doble apoyo es inferior al empleado cuando se lanza con martillos reglamentarios.

En las Tablas 4 y 5 se presentan las diferencias encontradas en los ángulos azimutales de los lanzamientos realizados con martillos de pesos por encima y por debajo del reglamentario, respectivamente y con respecto a los lanzamientos realizados con el martillo reglamentario. En este caso la variabilidad entre sujetos ha sido relativamente grande, como indican las desviaciones típicas encontradas, lo que ha determinado que no existan diferencias significativas claras y que el efecto de las cargas haya sido nulo en esta variable.

Tabla 4. Ángulo azimutal contacto

	N	Giro 1°	Giro 2°	Giro 3°	Giro 4°
Peso superior	X	3.2	-2.4	-2.3	9.6
	SD	16.7	8.9	11.6	16.2
Peso inferior	X	12	1.25	7.6	10.5
	SD	9.2	12.5	16.4	21.1
	F	4.40*			

* p < 0.05

Tabla 5. Ángulo azimutal perdida

	N	Giro 1°	Giro 2°	Giro 3°	Giro 4°
Peso superior	X	-1.3	1.6	-6.2	-0.3
	SD	8.8	14.1	12.5	20
Peso inferior	X	0.75	0.4	-5.2	-2.3
	SD	5.01	9.8	17.0	21.9

En la tabla 6 se presentan las diferencias encontradas con respecto al ángulo de inclinación del martillo en cada vuelta. Aunque se puede observar que, en general, los ángulos de inclinación son inferiores cuando se lanza con martillos más pesados, con respecto a los ángulos de inclinación obtenidos en lanzamientos con martillos reglamentarios, no se han podido constatar diferencias significativas claras que nos permitan afirmar este hecho. Cuando se lanza con martillos inferiores a los reglamentarios, el comportamiento es similar, aunque, en este caso la tendencia es que dicho ángulo se incrementa.

Tabla 6. Ángulo de inclinación

	N	Giro 1°	Giro 2°	Giro 3°	Giro 4°
Peso superior	X	-0.3	-1.80	-1.50	-1.2
	SD	2.16	4.34	5.85	6.12
Peso inferior	X	1	1.41	0.5	-0.7
	SD	3.21	5.16	6.7	5.76

Tanto la Tabla 7 como la Tabla 8 presentan el comportamiento que ha tenido el radio de giro en cada vuelta y fases que las determinan, con la utilización de martillos más pesados (Tabla 7) y más ligeros (Tabla 8), con respecto a los radios obtenidos en los lanzamientos realizados con los martillos reglamentarios. Es necesario destacar que, tanto con martillos

pesados como con los ligeros, la media de los radios obtenidos es algo superior a los obtenidos con el martillo reglamentario, aunque solo en el tercer giro se han encontrado ciertas diferencias significativas ($p < 0.05$) cuando se lanza con el martillo más ligero, con un incremento que no sobrepasa, en el mejor de los casos, los 0.08 m.

Tabla 7. *Radio de giro apoyo único*

	N	Giro 1°	Giro 2°	Giro 3°	Giro 4°
Peso superior	X	0.008	0.007	0.006	0.003
	SD	0.004	0.05	0.05	0.06
Peso inferior	X	0.01	0.019	0.04	0.027
	SD	0.03	0.04	0.04	0.04
	F			4.2*	

* $p < 0.05$

Tabla 8. *Radio de giro apoyo doble*

	N	Giro 1°	Giro 2°	Giro 3°	Giro 4°
Peso superior	X	0.015	0.002	0.028	
	SD	0.06	0.05	0.07	
Peso inferior	X	0.025	0.007	0.045	
	SD	0.04	0.05	0.04	
	p			2.84*	

* $p < 0.05$

DISCUSIÓN

Se ha puesto de manifiesto como el incremento en 1 Kg del peso del martillo hace que el lanzador tarde 0.09 s más en realizar el lanzamiento, datos que coinciden con los resultados expuestos por Losch (1991) que determina un incremento de 0.02 s en el último giro cuando el martillo aumenta de 7.25 Kg a 8 Kg. Este hecho, y siguiendo a este mismo autor, se produce debido al incremento de la fuerza total máxima que debe soportar el lanzador.

Si aceptamos como válido el *programa motor generalizado*, propuesto por Schmidt (1985), la estructura temporal del gesto, el orden de los elementos que lo determinan y la fuerza relativa, componen los invariantes que debe tener un programa motor. En este caso, cuando modificamos el peso del martillo, la estructura temporal varía y, consecuentemente, también el programa motor, es decir el orden y el sincronismo que debe tener el lanzamiento de martillo. Posiblemente las interferencias de las que habla Losch (1991), sobre el gesto

de competición, cuando se utilizan martillos de pesos diferentes, estén producidos por la modificación en la estructura temporal.

Analizando la estructura temporal de los periodos que determinan cada giro, se comprueba que cuando se utilizan martillos más pesados (1 Kg superior al reglamentario) cada lanzador modifica dicha secuencia temporal de forma diferente, es decir, el gesto cambia de forma individualizada, lo que ratifica las apreciaciones realizadas por Bakarinov (1988, 1990). Con la utilización de martillos más ligeros (1 Kg inferior al reglamentario), la modificación de la estructura temporal del gesto se aproxima más a un patrón común, reduciéndose, aproximadamente, 0.03 s, la fase de doble apoyo en cada giro e incrementándose, aproximadamente, en 0.01 s, la fase de apoyo único.

Los resultados han puesto de manifiesto que las variaciones encontradas en los ángulos azimutales, debidas a las modificaciones del peso del martillo, con respecto al lanzamiento realizado con el martillo reglamentario, son individuales, es decir, cada lanzador modifica sus ángulos con un patrón individualizado. Al menos debemos de considerarlo así y no a la variabilidad intrasujeto, es decir a la que cada lanzador tiene debido a una falta de automatismo o consistencia temporal en el lanzamiento. Hemos supuesto que dicha consistencia temporal existe al ser lanzadores de nivel nacional y de una notable experiencia en competición, aunque el excesivo tiempo empleado en la realización del gesto, así como la excesiva distancia de aceleración utilizada, puede poner en duda nuestro supuesto inicial.

Tampoco podemos indicar que exista un patrón general de todos los lanzadores sobre las modificaciones encontradas en el ángulo de inclinación del martillo o en los radios de giro. Según los resultados expuestos, la modificación de dichos factores lo resuelve cada lanzador de forma diferente, posiblemente debido a la modificación de la estructura temporal y, consecuentemente, la dinámica de los compromisos entre los factores que determinan la eficacia del gesto.

Creo necesario destacar el incremento medio, de 0.04 m, durante el tercer giro, que experimenta el radio de giro cuando se lanza el martillo de 1 Kg por debajo del reglamentario. La significación en las diferencias encontradas nos permite confirmar que este hecho ocurre a nivel general, siendo éste un factor a tener en cuenta en la toma de decisiones durante la planificación del entrenamiento.

Se confirma, por tanto, que las modificaciones en los pesos del martillo, producen unos cambios estables y generales en el tiempo empleado por el lanzador para realizar cada giro, con respecto a los lanzamientos realizados con el martillo reglamentario, aunque dichos cambios en la consistencia temporal producen ciertas interferencias o modificaciones en los factores que determinan la eficacia del lanzamiento. Este hecho nos hace reflexionar sobre la utilización del método conjuntado de contrastes, el cual debe de aplicarse conociendo previamente el efecto que produce sobre los factores que determinan la eficacia de cada lanzador, en caso contrario es posible que obtengamos efectos no deseados o interferencias en el gesto de competición.

Posiblemente en las etapas de desarrollo y aprendizaje, o durante ciertas etapas de entrenamiento muy alejadas de la competición, la utilización generalizada del método conjuntado de contrastes sea adecuado, aunque considero que no es posible discutir este hecho científicamente con los datos que se tienen actualmente.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKARINOV, Y. (1988). "Le lancer du marteau: evolution et perspectives." *Rev. Amicale*, 105.
- BAKARINOV, Y. (1990). "Theoretical aspects of training control for highly qualified throwers." *Rev. NSA*, 1.
- BONDARTSCHUK, A. P.; IVANOVA, L. y VINNITCHUK, W. (1977). "Training with light and heavy implements". *Track Technique*, 67, 2129-2130.
- BONDARTSCHUK, A. P. (1987). "La técnica moderna en el lanzamiento de martillo". *Cuadernos de Atletismo*, 20, 65-72. (traducido de las actas del Congreso de la E.A.C.A.: Aix-les-bains, 1987).
- CLAUSER, C. E.; MCCONVILLE, J. T. y YOUNG, J. W. (1969). Weight volume and center of mass of segments of the human body. *Journal of biomechanics*, 10, 269-277.
- DAPENA, J. (1986). "A kinematic study of center of mass motion in the hammer throw". *Journal of Biomechanics*, 19, 2, 147-158.
- DURÁN, J. (1993). "Lanzamiento de martillo". En *Atletismo III (lanzamientos)*. Ed: Comité Olímpico Español: Madrid.
- GUTIÉRREZ, M.; SOTO, V. M. y MARTÍNEZ, M. A. (1990). *Sistema de análisis computerizado para el movimiento humano*. Ed. Unisport, Junta de Andalucía.
- GUTIÉRREZ, M. y SOTO, V. M. (1994). "Análisis biomecánico del lanzamiento de martillo (segunda parte)". *Apunts de Medicina de l'Esport*, XXXI, 47-59.
- LOSCH, M. (1991). "Training derivations from biomechanical studies in the hammer throw". *Die lehre der leichtathletik*, 30, 37.
- NIKOLOV, E. (1987). "Methodical advice regarding the use increased weight decives in hammer throw training". *Vatrosi na fiziceskata kultura*, 7, 54-57.
- SAMOZVETOV, A. (1971). "The acceleration of the hammer". *Legkaya Atletika*, 11 18-20.
- SCHMIDT, R. A. (1985). The search for invariance in skilled movement behavior. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56, 188-200.
- WOOD, J. A. y JENNINGS, L. S. (1979). On the use of splines functions for data smoothing. *Journal of biomechanics*, 12, 477-479.

INFLUENCIA DEL LANZAMIENTO CON DISCOS DE DIFERENTE PESO EN LA TÉCNICA INDIVIDUAL

EFFECT OF THROWING DISCI OF DIFFERENT
WEIGHTS ON INDIVIDUAL THROWING TECHNIQUE

*Ferro, A.
Rivera, A.
García-Fogeda, A.
Pagola, I.
Valios, J. C.*

Dirección para correspondencia:

Amelia Ferro Sánchez

Responsable de la Unidad de Biomecánica

Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte

C/ Greco, s/n

28040 Madrid

E-mail: amelia.ferro@csd.mec.es



Amelia Ferro Sánchez: INEF. Doctora en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciada en Educación Física por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciada con Grado en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid Responsable del Laboratorio de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte (CARICD) del Consejo Superior de Deportes desde 1993. Profesora de Biomecánica del Departamento de Fundamentos de la Motricidad y del Entrenamiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Europea de Madrid (1996-1999). Profesora de Biomecánica del Instituto Nacional de Educación Física de Madrid (1989-1992). Ha dirigido y participado en proyectos de investigación y de apoyo a deportistas de las especialidades de lanzamiento de disco, carreras de velocidad y relevos, carreras de atletas ciegos paralímpicos, saltos de longitud, natación, gimnasia rítmica, bádminton... En el Campeonato del Mundo Sevilla'99 ha dirigido los proyectos de análisis biomecánico de las carreras de velocidad y los saltos de longitud, habiendo recibido financiación de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y de la Asociación del Deporte Olímpico (ADO). Colabora desde 1989 con diversas Escuelas de Entrenadores Deportivos de Federaciones Nacionales impartiendo la asignatura de Biomecánica.



Alicia Rivera Sánchez: Licenciada en Educación Física por el INEF de Madrid. Becaria de la Unidad de Biomecánica del C.A.R.I.C.D. desde Junio de 1997. Ha participado en proyectos de análisis biomecánicos de la técnica de lanzamiento de disco, análisis de la competición en natación, badminton, gimnasia rítmica, carreras de velocidad y relevos y salto de longitud. Ha colaborado en el análisis biomecánico de carreras de velocidad y salto de longitud en el Campeonato del Mundo de Atletismo de 1999.



Alberto García-Fogeda Herrera: Licenciado en Educación Física. Responsable del Laboratorio de Biomecánica y Profesor Titular de Biomecánica de la Actividad Física y el Deporte y de Biomecánica de las Técnicas Deportivas en el INEFC, centro de Lleida.



Itziar Pagola Aldazabal: Licenciada en Educación Física (1992-97) en el I.N.E.F. de Madrid, perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid. Profesora de Biomecánica del Departamento de la Motricidad y del Entrenamiento Deportivo de la Universidad Europea de Madrid. Becaria en la Unidad de Biomecánica del C.A.R.I.C.D. (CSD) (1997-99). Ha participado en proyectos de análisis biomecánicos de la técnica de lanzamiento de disco, análisis de la competición en natación, bádminton, gimnasia rítmica, carreras de velocidad y relevos y salto de longitud. Ha colaborado en el análisis biomecánico de carreras de velocidad y salto de longitud en el Campeonato del Mundo de Atletismo de 1999.



Joan Vàlios Blanco: Licenciado en Educación Física. Profesor de Biomecánica del Departamento de Fundamentos de la Motricidad y del Entrenamiento Deportivo y Director del Laboratorio de Biomecánica de la Universidad Europea de Madrid. Becario del proyecto "Análisis biomecánico de la técnica deportiva de los mejores atletas españoles de lanzamiento de disco" (INEFC Lérica-UdL).

Resumen: A lo largo de cuatro años de investigación se han recogido datos cinemáticos de la técnica de lanzamiento de disco de la elite española. Con los datos en una de las concentraciones, organizada por la R. Federación Española de Atletismo, se han podido comparar variables cinemáticas de lanzamientos con discos de diferentes pesos. El objetivo era determinar cómo se modifican las variables cinemáticas en el conjunto de lanzadores al utilizar discos de pesos diferentes al estándar. La muestra estuvo formada por 6 lanzadores y 3 lanzadoras pertenecientes a la Selección Española de la Real Federación Española de Atletismo, de la especialidad de lanzamiento de disco. Para la recogida y análisis de los datos se utilizó la técnica de fotogrametría 3D, con dos cámaras de cine de alta velocidad que filmaron a 100 fps, una cadena de medida para la digitalización y análisis de datos y un ordenador para el tratamiento de datos y resultados con el programa *Kinescan-IBV*. Se realizaron filmaciones de lanzamientos con discos ligeros (800 g/1700 g), estándar (1000 g/2000 g) y pesados (1250 g/2500 g). Después de comparar las variables cinemáticas en los lanzamientos con diferentes discos, se obtuvieron los siguientes resultados: menor ángulo de rodilla al lanzar con disco pesado; ángulo brazo-tronco mayor en los lanzamientos de mujeres con disco ligero; disminución de la velocidad del hombro en el despegue con disco pesado y aumentos de la velocidad de cadera con el disco ligero. Se puede afirmar que la técnica de los lanzadores, en general, se modifica más con los discos pesados que ligeros, ya que aumentan los requerimientos de fuerza.

Palabras Clave: Biomecánica, lanzamiento de disco, cinemática, fotogrametría 3D.

Abstract: During four years of investigation kinematic data on the throwing technique of Spanish elite throwers has been collected. With the data from one of the camps, it has been possible to compare kinematic variables of throws with discs of different weights. The objective was to determine how the kinematic variables in the group of throwers are modified when using discs of weights different to the standard. The sample was formed by 6 male throwers and 3 female throwers belonging to the Spanish Selection of the Real Federación Española de Atletismo, in the specialty of discus throw. For the collection and analysis of the data the technique of 3D photogrametry was used, with two high-speed cine cameras filming at 100 fps, a measure chain for the digitizing and analysis of data and a computer for the processing of data and results with the software *Kinescan-IBV*. Throws with light (800 g/1700 g), standard (1000 g/2000 g) and heavy discus (1250 g/2500 g) were filmed. After comparing the kinematic variables in the throws with different weights, the following observations were made: smaller knee angle when throwing with heavy discus; bigger arm-trunk angle for the women in throws with light discus; a decrease of the shoulder speed when the discus leaves with heavy disk, and increases of the hip speed with the light discus. It can be asserted that the technique of the throwers, in general, is modified more with the heavy discus than with the light one, since the requirements of force increase.

Key Words: Biomechanics, discus throw, kinematics, 3D photogrametry.

INTRODUCCIÓN

Desde 1995, el Laboratorio de Valoración Mecánica del INEF de Lleida y la Unidad de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte de Madrid, desarrollan un proyecto de investigación sobre la *Biomecánica del Lanzamiento de Disco*. Este proyecto forma parte del *Proyecto Coordinado de Lanzamientos Atlético: peso, disco, jabalina y martillo*, financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y el Consejo Superior de Deportes. El objetivo común del *Proyecto Coordinado* fue el de desarrollar una metodología para el análisis cinemático tridimensional de los lanzamientos que permitiese trabajar en equipo a los cinco grupos que asumieron el estudio de cada uno de los lanzamientos. En segundo lugar, establecer un modelo de relación con los técnicos deportivos que asegurase la transferencia de la información de forma eficiente para que los resultados pudiesen ser aprovechados por los deportistas. Por su parte, en cada subproyecto se propusieron unos objetivos específicos cuya consecución se planteó en distintas etapas (Ferro y cols., 1998). Los resultados de uno de los apartados se presentan en este artículo.

El lanzamiento de disco es una especialidad atlética con un elevado componente técnico y de fuerza. La finalidad del lanzamiento es que el disco logre la máxima distancia horizontal, para lo cual deberá haber adquirido la máxima velocidad posible en el momento en que se separa de la mano. Esta es una característica común a los movimientos de tipo balístico, de cadena cinemática abierta. Del análisis cualitativo de esta técnica se deducen una serie de variables cinemáticas que van a determinar la velocidad que alcanzará el disco al final del lanzamiento. Con la ayuda de técnicas de análisis biomecánico, concretamente con las de fotogrametría tridimensional de alta velocidad, se han podido cuantificar dichas variables (Ferro, A., 1996).

En las sesiones de entrenamiento, los atletas ejecutan lanzamientos con discos de pesos mayores y menores que el disco de competición o estándar, lo que supone desarrollar diferentes demandas de fuerza; en consecuencia, la velocidad de salida del disco y las variables adyacentes, se modificarán. En estudios de Pozzo y cols. (1988) se analizaron variables cinemáticas del lanzamiento buscando las diferencias que reflejasen las distintas formas de transmisión de velocidad del cuerpo al implemento en lanzamientos con discos de diferente peso. Nuestros estudios van encaminados en esa misma línea pero intentando aportar datos nuevos dado que las técnicas del lanzamiento cambian y los métodos de análisis de datos evolucionan.

Uno de los objetivos del proyecto de lanzamientos atléticos, en el que se encuadra este estudio, es analizar la influencia de las cargas de trabajo en la técnica del lanzamiento. Para ello se filmaron concentraciones de los lanzadores de la elite española en diferentes momentos de la temporada. Con los datos obtenidos del análisis de la técnica de lanzamiento de una de las concentraciones, se ha podido comparar variables cinemáticas de lanzamientos con discos de diferentes pesos y, con ello, averiguar qué modificaciones se producen en el modelo técnico de cada lanzador. Los datos proporcionarán al entrenador una valiosa información a la hora de planificar el entrenamiento alternante de cargas de cara a la competición.

MATERIAL Y MÉTODO

Muestra

La muestra estuvo formada por seis hombres y tres mujeres, deportistas de alto nivel pertenecientes a la Selección de la Real Federación Española de Atletismo de la especialidad

de lanzamiento de disco. Todos ellos quedaron clasificados dentro de los diez primeros puestos en el Campeonato de España de Atletismo de 1997, el mismo año en que se realizaron las pruebas.

Material

Para el registro y análisis de los datos se utilizaron técnicas de fotogrametría cine tridimensional compuesta de los siguientes elementos:

- Dos cámaras de cine de 16 mm de alta velocidad *Photosonic-1PL* dotada de sistema de sincronismo.
- Sistema de referencia cúbico de 2 x 2 x 2 m para calibrar el espacio.
- Sistema de referencia secundario formado por dos pivotes visibles durante toda la filmación.
- Dos lectoras de film *Kodak*.
- Mesa digitalizadora de dimensiones de 75 x 130 cm con un sistema de cinco espejos para reflejar la imagen mediante ángulos de 45° hasta su proyección en una pantalla traslúcida. La mesa alberga:
- Proyector analizador *Nac mod. DF - 16C*.
- Digitalizador sónico *Sac- GP7 Graf/Bar Mark II*.
- Un ordenador Pentium a 350MHz y una impresora HP DJ 550C.
- Programa de digitalización y análisis *Kinescan-IBV v.8.1*.
- *Fungible*: Cuatro películas de cine de 16 mm *Kodak*, 500 T de doble perforación.

Metodología

Se seleccionó para el estudio una concentración de atletas organizada por la R. Federación Española de Atletismo; la del mes de abril de 1997, en la que hubo una gran participación. Se filmaron todos los lanzamientos ejecutados por los atletas con los tres pesos distintos: estándar, pesado y ligero (Tabla I).

Tabla I. Peso de los discos utilizados en la concentración de abril de 1997

	Pesado	Estándar	Ligero
HOMBRES	2500 g	2000 g	1700 g
MUJERES	1500 g	1000 g	800 g

En todas las filmaciones se siguió el mismo protocolo; las cámaras se situaron en el campo formando un ángulo entre 60 y 120° para asegurar el análisis tridimensional. Así mismo, se tuvo en cuenta la situación de jueces y otros deportistas con el fin de evitar interferencias durante la filmación. Además de la filmación con cine, el grupo del INEF de Lleida recogió las mismas tomas con dos cámaras de vídeo a 50 Hz. (Figura 1). La frecuencia de filmación fue la misma tanto en concentraciones como en las competiciones fue de 100 fotogramas por segundo. Un sistema de referencia cúbico de dimensiones 2 x 2 x 2 m se filmó antes de las pruebas; se colocó centrado en el círculo de lanzamiento y con uno de los

lados orientado a la hipotética dirección anteroposterior de lanzamiento. En una planilla se anotó cada lanzamiento, el peso correspondiente y cualquier otro incidente que se produjo durante la prueba.

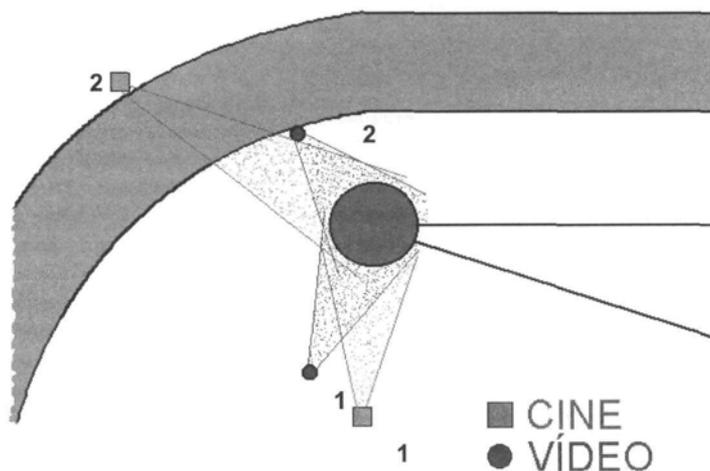


Figura 1. Esquema de la situación de las cámaras durante la filmación.

A los deportistas se les marcó con unos adhesivos de 2 cm de diámetro, perfectamente visibles, unos puntos de referencia o marcadores para facilitar el proceso de digitalización. Así mismo, todos los sujetos llevaron ropa ajustada para determinar con claridad los puntos anatómicos necesarios para el análisis.

Las películas filmadas se revelaron y copiaron en los laboratorios Fotofilm Madrid, S. A. El revelado se hizo a toda ventanilla para no perder las marcas del evento que la cámara, mediante un led, graba en el lateral de la película.

En las moviolas lectoras se proyectan los dos rollos de película, pertenecientes a los dos planos de filmación; se identifican las secuencias, se sincronizan y se numeran los fotogramas a partir de un evento común. Para el análisis posterior se seleccionan cinco fotogramas antes de que el disco empiece su movimiento hacia delante, una vez alcanzado el punto más atrasado después del balanceo previo y cuatro fotogramas después del de salida del disco. En la moviola se identifican los fotogramas en los que se producen los eventos que delimitan las fases características del lanzamiento de disco (Martínez, J. L., 1993):

1. Primer apoyo doble: Desde el inicio del balanceo hasta que el pie derecho del deportista despegar del suelo al comenzar la rotación por el círculo de lanzamiento.
2. Primer apoyo simple: Desde el instante anterior hasta que despegar el pie izquierdo del suelo.
3. Vuelo: Desde el instante anterior hasta que vuelve a apoyar el pie derecho en el suelo.
4. Segundo apoyo simple: Desde el instante anterior hasta que apoya el pie izquierdo en el suelo.

5. Segundo apoyo doble: Desde el instante anterior hasta que la mano pierde contacto con el disco.

Una vez numeradas las secuencias se llevó a cabo el análisis temporal de los lanzamientos, calculando la duración de cada fase en función de los fotogramas existentes entre eventos.

Posteriormente, las películas se proyectaron en la mesa digitalizadora para su análisis. Se seleccionaron aquellas pertenecientes a los mejores lanzamientos de cada sujeto. En algún caso, concretamente en mujeres, no se pudieron obtener imágenes completas de algunos lanzamientos (película quemada, velada, interposición de sujetos entre la cámara y el lanzador, etc.).

El proceso de análisis de las imágenes filmadas se llevó a cabo con el programa *Kinescan-IBV v. 8.1*. Se creó un modelo alámbrico de 21 puntos con las características antropométricas propuestas por Leva. P. (1996). Además, se definieron cinco puntos más para la digitalización, los correspondientes a las dos referencias secundarias, el punto *metatarsiano* de cada pie y el disco, y se calculó uno auxiliar (punto medio de caderas) (Ferro, A. 1996). La cadena de medida para el análisis de las imágenes se representa en la figura 2. Después de digitalizadas las películas en los dos planos, se llevó a cabo la reconstrucción tridimensional mediante el algoritmo de la Transformación Lineal Directa (DLT) desarrollado por Abdel-Aziz y Karara (1971). El suavizado de los datos se realizó mediante una función "spline" de 5º orden y el método de cálculo utilizado fue el desarrollado por Woltring (1985), *Generalized Cross Validation*. El tratamiento de los datos se llevó a cabo mediante una rutina desarrollada en nuestro laboratorio, con el programa *Excel*, en la que se introdujeron los algoritmos de cálculo de las variables que el programa no proporciona directamente.

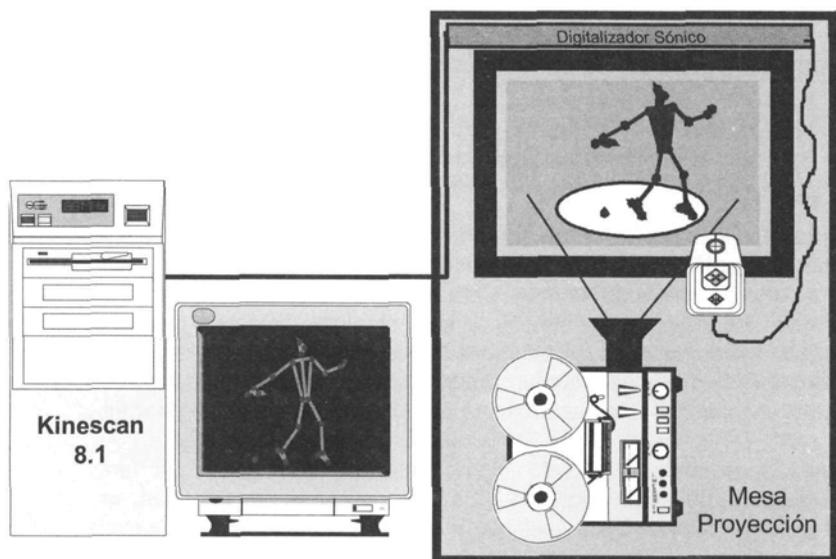


Figura 2. Cadena de medida para el análisis de las imágenes y tratamiento de los datos. Laboratorio de Biomecánica CARICD.

Para el tratamiento de los resultados del estudio se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

1. **VARIABLES INDEPENDIENTES:** Sexo y peso del disco (pesado, ligero y estándar).

2. **VARIABLES DEPENDIENTES:**

- Duración de las fases del lanzamiento:
 - > Tiempo total y de cada una de las fases (en valor absoluto y relativo).
- Variables de salida del disco:
 - > Velocidad anteroposterior, vertical, mediolateral y resultante.
 - > Altura del disco en el momento del despegue.
 - > Ángulo del vector velocidad tridimensional.
- Trayectoria del disco en los tres ejes del espacio.
- Distancia entre los apoyos derecho e izquierdo en el momento de lanzar.
- Patrón articular en las dos últimas fases del lanzamiento.
- Ángulo tórax máximo y en el momento del despegue del disco.
- Ángulo brazo-tronco.
- Ángulo de la cadera del lado del lanzamiento.
- Ángulo del hombro del lanzamiento.
- Ángulo de la rodilla.

Posteriormente, se elaboraron unos informes de resultados intentando proporcionar al entrenador de forma sencilla y práctica los resultados completos del estudio para su posterior análisis.

RESULTADOS

Las velocidades de salida del disco, como era de esperar, se modificaron con el peso del disco pero nunca se había cuantificado la diferencia; se obtuvieron disminuciones de hasta 1.9 m/s del disco pesado respecto al disco estándar y aumentos con el disco ligero de hasta 2.2 m/s (figura 3). Con estos aumentos se contribuye a evitar la aparición de la denominada "barrera de velocidad", que es la principal finalidad del entrenamiento con artefactos más ligeros (Martínez, J. L., 1993). En la figura 3 se puede observar que en el conjunto de sujetos se produjo la misma tendencia.

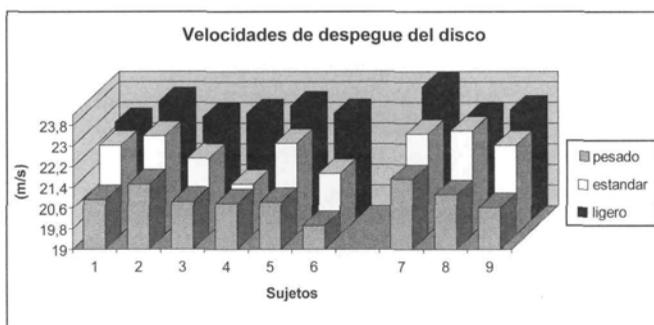


Figura 3. Velocidad de salida del disco.

En cuanto a la altura y al ángulo de salida del disco (figuras 4 y 5) se observó en seis de los nueve casos de lanzamientos con disco pesado, menores valores que con disco estándar. En los lanzamientos con disco ligero no se observó un aumento generalizado de ninguna de estas dos variables.

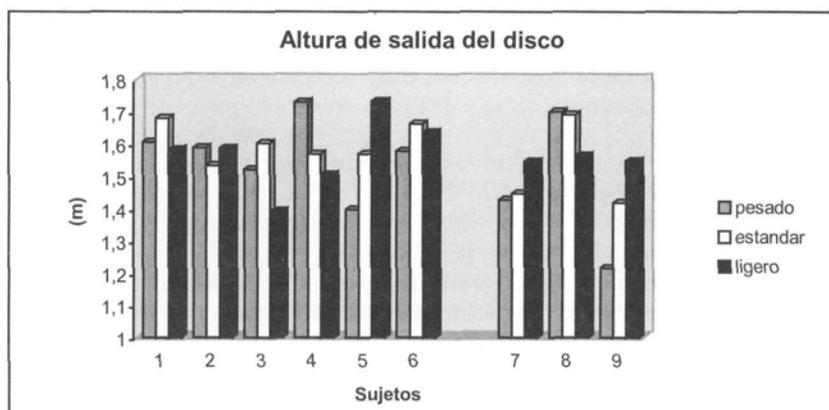


Figura 4. Altura de salida del disco.

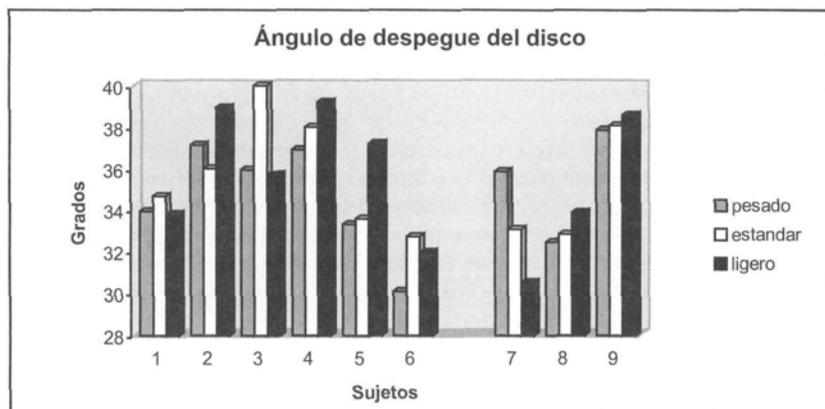


Figura 5. Ángulo de salida del disco.

En el patrón articular de las dos últimas fases del lanzamiento, lo más destacable fue que en el ángulo brazo-tronco (Figura 6, ver pág. siguiente) de los lanzamientos con disco ligero, las mujeres logran, en el momento del despegue del disco, aumentar este ángulo hasta un 11% respecto al disco estándar (Figura 7, ver pág. siguiente). En la evolución del ángulo en las dos últimas fases se observó mayor amplitud articular brazo-tronco con el disco ligero que con el disco estándar; las lanzadoras logran ángulos máximos mayores que con el estándar y ángulos mínimos menores que con el disco estándar.

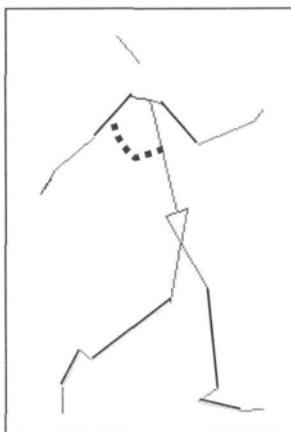


Figura 6. Ángulo brazo-tronco.

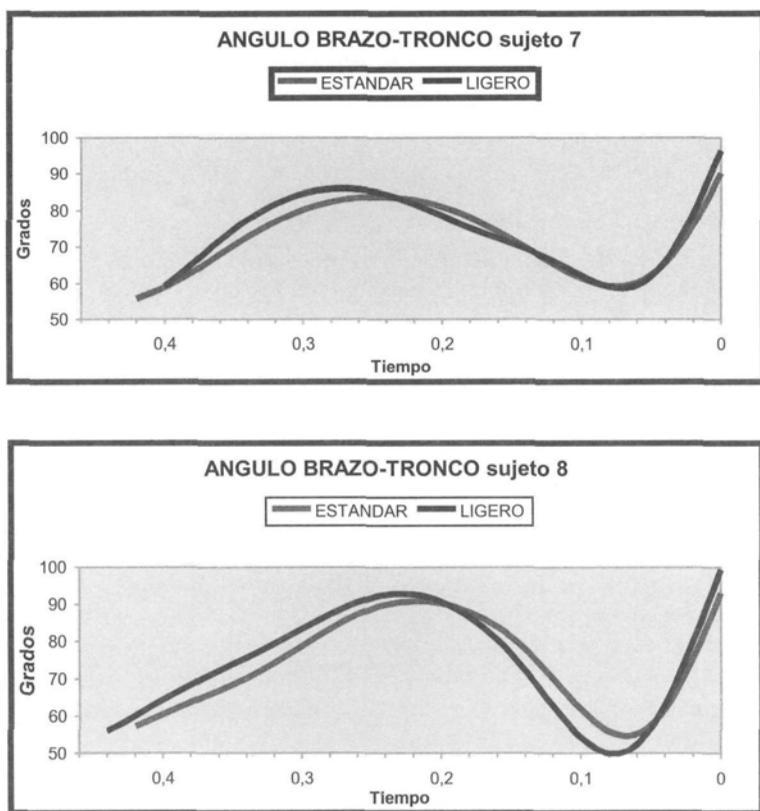


Figura 7. Ángulo brazo-tronco de dos lanzadoras.

Los ángulos de la rodilla derecha, en el momento del despegue, en la mayoría de los lanzamientos de los hombres realizados con discos pesados fueron menores; las disminuciones llegan a ser del 21% respecto al disco estándar. En las mujeres no se observó esa disminución generalizada (figura 8).

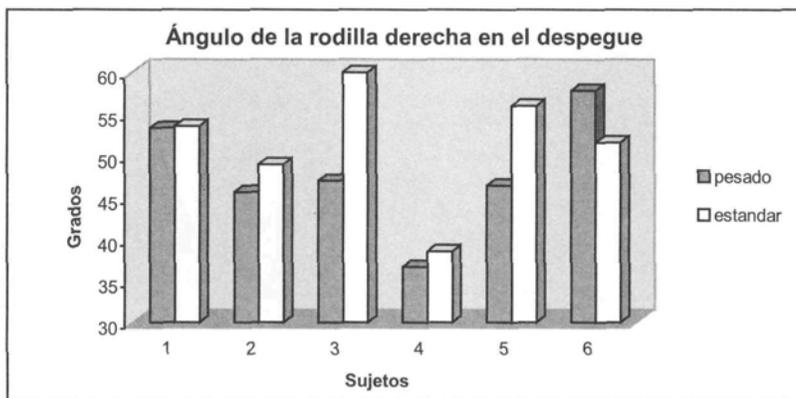


Figura 8. Ángulo de la rodilla derecha en el despegue del disco.

Una variable importante de cara a la determinación de la eficacia del lanzamiento es la torsión máxima que logra el sistema eje de hombros-eje de caderas desde la fase de vuelo hasta el final del lanzamiento. Este valor da idea de la eficacia que consigue el atleta gracias al prestiramiento muscular y a la transmisión de la velocidad angular del cuerpo al disco (figura 9). El ángulo formado entre la línea de hombros y de caderas, proyectado en el plano horizontal es un indicador del grado de torsión total del sistema (Dapena, 1997). En la representación gráfica del ángulo de torsión máxima con los diferentes pesos (figura 10) se observa que los lanzamientos con discos pesados provocaron, en general, diferencias mayores respecto al disco estándar, que las encontradas con disco ligero. Con los datos disponibles no se puede afirmar si se produce un aumento o disminución de ese ángulo de forma generalizada en todo el grupo, aunque parece que con el disco ligero hay más casos de reducción del ángulo de torsión máxima respecto al valor obtenido con el disco estándar.

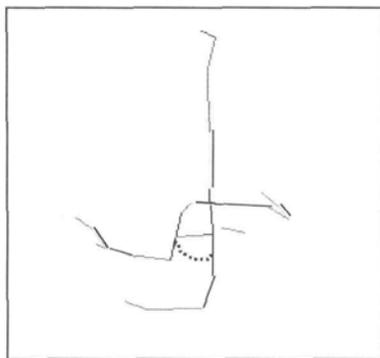


Figura 9. Ángulo de torsión (visión cenital).

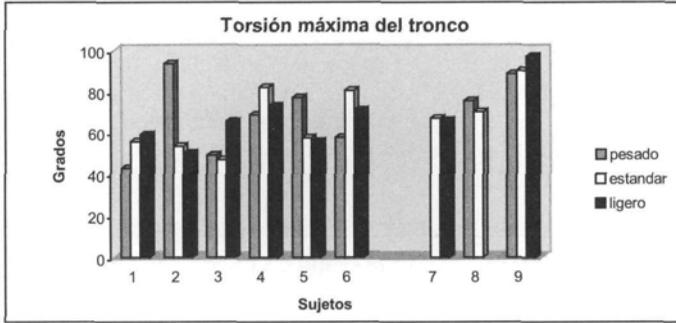


Figura 10. Ángulo de torsión máxima en las dos últimas fases del lanzamiento.

Se ha observado en el grupo de lanzadores (figuras 11 y 12) una menor velocidad del hombro con el disco pesado que con el disco estándar, tanto en el valor máximo como en el momento del despegue; se observa que el frenado del hombro es más eficaz con el disco pesado. Algunos sujetos tienen dificultad para realizar un frenado en el momento del despegue con disco ligero pero logran velocidades muy reducidas con el disco pesado (sujeto código 6).

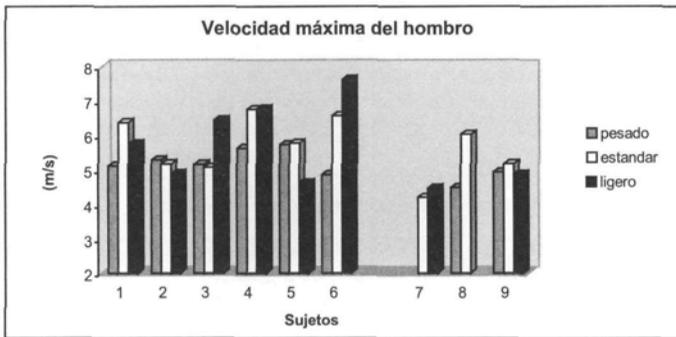


Figura 11. Velocidad máxima del hombro en las dos últimas fases del lanzamiento del disco.

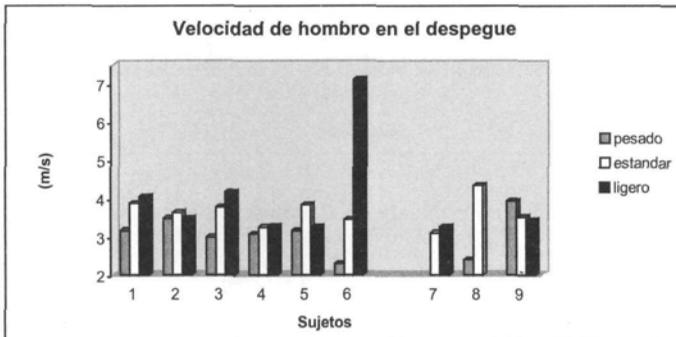


Figura 12. Velocidad del hombro en el momento del despegue del disco.

De las gráficas que representan los valores de velocidades máximas de cadera y en el momento del despegue se observa una tendencia del grupo a reducir de forma acusada la velocidad de la cadera en el momento del despegue; en algunos casos se logró mayor frenado con el disco pesado que con el resto (tres sujetos); en otros se consiguieron mejores frenados con el estándar (tres sujetos), por lo que la interpretación tendría que ser individual marcando éste hecho un comportamiento no homogéneo que debería considerar el entrenador (figuras 13 y 14).

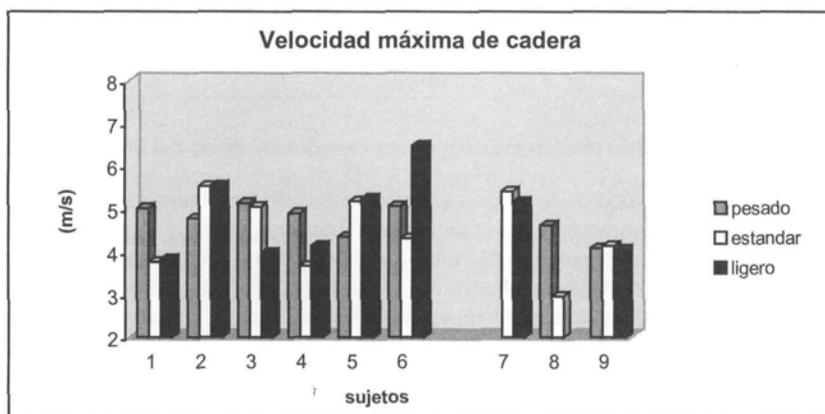


Figura 13. Velocidad máxima de cadera en las dos últimas fases del lanzamiento.

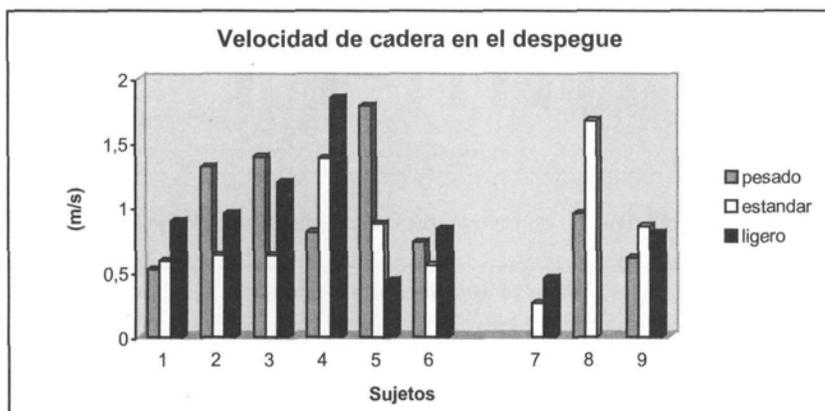


Figura 14. Velocidad de la cadera en el momento del despegue del disco.

La representación gráfica de las velocidades de hombro, cadera y disco (figura 15) se entregó a los entrenadores con el informe de todas las variables comentadas con anterioridad. En ella se observan las velocidades parciales de la cadena cinemática formada por la cadera, hombro y disco. La interpretación de estas gráficas ha de ser individualizada para comprobar cómo afecta el disco de distinto peso a la secuenciación de la cadena cinemática.

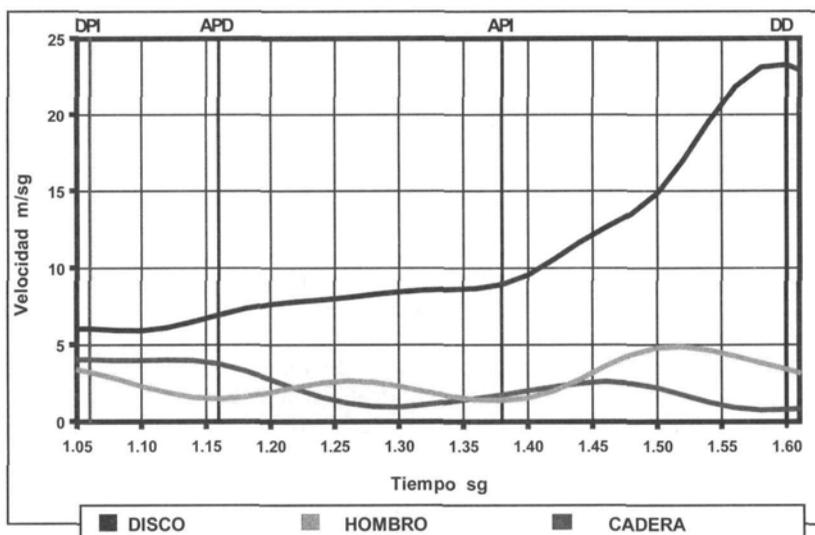


Figura 15. Velocidades de la cadena cinemática, cadera, hombro y disco, en las dos últimas fases del lanzamiento.

CONCLUSIONES

La técnica de los lanzadores en general se modifica más con discos pesados que con ligeros, porque al lanzar con discos pesados aumentan las demandas de fuerza.

El cambio de peso del disco afecta de forma clara al factor más determinante en la distancia de lanzamiento: la velocidad de salida del disco. Con el disco ligero se confirma que se vence la "barrera de la velocidad" dado que se ve incrementada considerablemente dicha velocidad así como las amplitudes de ciertas articulaciones.

El lanzamiento con discos de pesos distintos al estándar va a modificar el patrón articular de forma individualizada. Aunque se han observado ciertas tendencias en algunas variables (ángulo de hombro-tronco, torsión, rodilla) con los datos disponibles no se puede generalizar. Las modificaciones observadas en las variables del patrón articular van a ser las que condicionen en última instancia la velocidad de salida del disco.

Se necesitan estudios futuros con una muestra mayor y con más lanzamientos de cada sujeto. Además, debiera existir un mismo plan de entrenamiento para todos los sujetos ya que, aunque se trazó un programa para llevar a cabo este estudio biomecánico, no se tiene la certeza de que se cumpliera por todos los atletas. Este hecho puede haber impedido obtener resultados "de grupo" que sirvan para encontrar un patrón o comportamiento generalizado.

Sería necesario un mayor contacto entre biomecánico - entrenador con objeto de planificar los estudios biomecánicos en consonancia con los entrenamientos y no al contrario. De esta

manera se podrá evaluar lo que realmente es de interés, participando activamente en el proceso de mejora del entrenamiento aportando una información objetiva que sólo la biomecánica puede proporcionar.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDEL-AZIZ, Y. J. y 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.
- DAPENA, J. y ANDERST, W. J. (1997). "Discus Throw # 1 (men)". Scientific Services Project USA Track & Field. Indiana University. Bloomington.
- FERRO, A. (1996). "Análisis biomecánico de la técnica de la carrera de los atletas ciegos paralímpicos". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- FERRO, A.; GARCÍA-FOGEDA, A.; VALIOS, J. C.; BLANCO, I. y GRAUPERA, J. L. (1998). "Metodología y modelo de actuación en el proyecto de lanzamiento de disco". *Biomecánica aplicada al Deporte I. Capítulo 12*. Universidad de León.
- LEVA, P. de (1996). "Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameter". *Journal of Biomechanics*. 29 (9) 1223-1230.
- MARTÍNEZ, J. L. (1993). "Atletismo III: lanzamientos. Disco". Comité Olímpico Español.
- POZZO, R.; BAUMANN, W.; SCHWIRTZ, A.; LOCATELLI, E. y BOSCO, C. (1988). "Biomeccanica del lancio del disco". *Rivista di cultura sportiva*. 7 (14) 71-77.
- WOLTRING, H. J. (1985). A fortran package for generalized cross validatory spline smoothing and differentiation". *Advanced Engineering Software*. 8, 104-107.

ESTUDIO BIOMECÁNICO DEL LANZAMIENTO DE PESO EN COMPETICIÓN. SU APLICACIÓN A LA CONSTRUCCIÓN DE EJERCICIOS ESPECÍFICOS DE ENTRENAMIENTO

BIOMECHANICS STUDY OF THE COMPETITIVE
SHOT PUT. ITS APPLICATION TO THE CREATION
OF SPECIFIC TRAINING EXERCISES

*Grande, I.
Burón, C.
López, J. L.
Meana, M.
Tomé, I.
Aguado, X.*

Dirección para correspondencia:

Xavier Aguado Jódar
Laboratorio de Biomecánica. Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad de Castilla-La Mancha
Campus Tecnológico (antigua Fábrica de Armas)
Avda. Carlos III, s/n
45071 TOLEDO
E-mail: xaguado@dep-to.uclm.es



Ignacio Grande Rodríguez: Licenciado en Educación Física. Becario de investigación del Laboratorio de Biomecánica del INEF de León. Tuvo la beca del CSD (ref. 01/UNI 22/97) para el estudio biomecánico de los mejores atletas españoles de lanzamiento de peso.



Carlos Burón Fresno: Licenciado en Educación Física. Profesor de Atletismo del INEF de León. Responsable Nacional de Lanzamientos de la RFEA. Entrenador del recordman español Manuel Martínez.



José Luis López Elvira: Licenciado en Educación Física. Becario de investigación del Laboratorio de Biomecánica del INEF de León con beca de la EXCMA. Diputación Provincial de León para el estudio biomecánico de la lucha leonesa.



Marta Meana Riera: Licenciada en Educación Física. Becario de investigación del Laboratorio de Biomecánica del INEF de León, con beca de MAPHRE para el estudio biomecánico en la prevención de lesiones deportivas.



Iñigo Tomé Bermejo: Ingeniero Industrial. Becario del Laboratorio de Biomecánica del INEF de León.



Xavier Aguado Jódar: Licenciado en Educación Física. Doctor en Ciencias de la Educación. Profesor de Biomecánica del INEF de Castilla y León. Responsable del Laboratorio de Biomecánica.

Resumen: Se ha realizado un análisis cinemático mediante técnica de fotogrametría vídeo 3D de los mejores lanzadores y lanzadoras de peso españoles en competición (Campeonato de España de Atletismo Absoluto al aire libre San Sebastián '98). En este trabajo se presentan los resultados de la acción del miembro superior de lanzamiento en la fase previa a la liberación (denominada por algunos autores como *impulso final*), que es la que mayor influencia tiene en el incremento de velocidad del peso y en el resultado del lanzamiento. El análisis tiene como objetivo determinar qué posiciones, rangos de movimiento y velocidades se dan en situación real de competición con el fin de aconsejar cómo debería adaptarse el entrenamiento del miembro superior para aumentar su especificidad.

Palabras Clave: Cinemática, lanzamiento de peso, entrenamiento.

Abstract: A kinematic analysis has been carried out using a 3D video with a photogrametry technique of the best competitive Spanish shot-putters (the Spanish outdoors senior championship held in San Sebastian in 1998). In this work the results of the upper limb performance of the put in the stage previous to the release (called by some authors "final impulse") are presented, as this limb greatly increases the speed of the shot and the result of the put. The aim of this analysis is to establish which positions, ranges of movement and speeds are used in a competition so as to advise how upper limb training should be adapted in order to develop its specificity.

Key Words: Kinematics, shot-put, training.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1995 se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Biomecánica del Instituto Nacional de Educación Física de Castilla y León un seguimiento de los mejores lanzadores de peso españoles. En el transcurso de estos tres años se ha conseguido perfeccionar la metodología de análisis en vídeo 3D incluyendo representaciones realistas por ordenador (Aguado y cols, 1998). También se ha optimizado el proceso de obtención de resultados, seleccionándose de forma más precisa, según una revisión de la bibliografía específica de esta disciplina y el contacto con los entrenadores en pruebas de control, competiciones, reuniones y congresos.

Tras el análisis de distintos controles técnicos y sobre todo con la información recabada en los Campeonatos de España Absolutos de Atletismo al Aire Libre celebrados en Málaga'96, Salamanca'97 y San Sebastián'98, se posee gran cantidad de datos que en nuestro caso se pretenden trasladar al entrenamiento deportivo (Aguado y cols., 1997; Aguado y cols, 1999; González y cols., 1998; Grande y cols, 1998 a; Grande, 1998 b; Grande y cols, 1999 a; Grande y cols., 1999 b). De la reflexión y análisis de las posibilidades de aplicación de éstos surgió la idea central sobre la que se desarrolla la presente memoria. La meta propuesta consiste en trasladar la técnica de lanzamiento estudiada en competición al terreno del entrenamiento deportivo. En este trabajo se presenta simplemente un análisis del lanzamiento con técnica lineal de cara a extraer conclusiones aplicables al entrenamiento. El entrenamiento deportivo ha pasado de ser una actividad basada casi exclusivamente en la propia experiencia del entrenador a ser analizado, controlado y estudiado de forma científica. La especialización de los atletas de alto nivel obliga a que su entrenamiento sea igualmente especializado (Burón, 1993).

La propuesta que se hace puede trasladarse a otras muchas disciplinas deportivas: se trata de estudiar la técnica del deporte en situación real de competición, mediante fotogrametría vídeo 3D con el objeto de definir posteriormente ejercicios de entrenamiento específicos, que respalten las posiciones, ángulos, rangos de movimiento y velocidades de la propia técnica deportiva (Aguado, 1993).

2. BIOMECANICA DEL LANZAMIENTO DE PESO

En este apartado se van a describir algunos de los factores de la biomecánica del lanzamiento de peso. Por un lado se van a comentar diferentes criterios sobre la división en fases, por otro se va a explicar la distancia que recorre el peso, tanto desde el punto de vista de las amplitudes como del recorrido geométrico y por último la velocidad de este, tanto durante la impulsión como en el instante de la liberación.

2.1 División en fases

Según Zatsiorski y cols. (1981) las diferencias entre las clasificaciones propuestas se encuentran únicamente en el aspecto terminológico y en la definición del momento en el que estas partes comienzan y finalizan. Zatsiorski y cols. (1981) comentan la divergente concepción en el momento de inicio del despegue que exponen diferentes autores. Mientras Grigalka y Papanova, Christmann, Lundberg, Jones, Marhold y Schpenke creen que el despegue comienza en el momento en el que el pie derecho contacta con el suelo después del

deslizamiento, Basanov, Bresnahan y cols. y Kristev piensan que éste comienza con el contacto del pie izquierdo; mientras que Markov considera que el comienzo se sitúa unos instantes después de que el pie derecho tome contacto con el suelo (Grande, 1998 b).

Comparando las divisiones propuestas se observan diversas concepciones en la determinación de evento que marca el **inicio del lanzamiento**. Se toma como punto inicial el primer movimiento hacia el frente de la pierna adelantada (McCoy y cols., 1984), el primer movimiento del peso en el sentido del lanzamiento (Knudson, 1990) o la adopción de una posición inicial (Papadopoulos y cols., 1994).

La **fase de deslizamiento** (McCoy y cols., 1984; Knudson, 1990; Judge, 1994) o **fase de traslación** (Papadopoulos y cols., 1994) es algo que tienen en común la mayoría de las divisiones propuestas. Ésta se inicia con el despegue de la pierna de impulsión del suelo y finaliza cuando contacta de nuevo con el suelo.

La **fase de transición**, tiempo que transcurre entre el apoyo del pie derecho tras el deslizamiento y el izquierdo, es generalmente definida de la misma manera por los diferentes autores.

Por último se diferencia el momento de conclusión del lanzamiento que en unos autores se sitúa en el primer instante sin contacto con el peso (McCoy y cols., 1984) y otros lo sitúan incluyendo las acciones siguientes de reequilibrio tras la liberación (Judge, 1994).

2.1 Recorrido del peso

2.1.1 Distancias

La distancia que alcance el atleta en su lanzamiento (**R**) es igual a la suma de la distancia horizontal en la que se encuentre el peso respecto al límite interno del taco de freno en el instante de la liberación (**R₀**); la distancia horizontal que recorra durante el tiempo de vuelo (**R_v**) (Figura 1) (Hay, 1973).

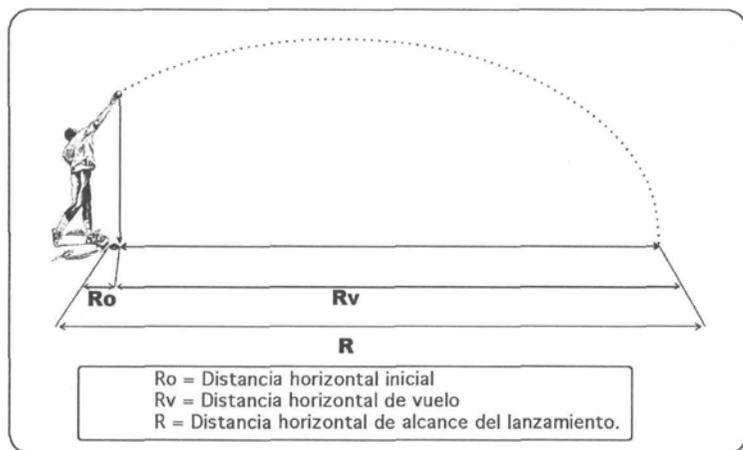


Figura 1. División de la distancia total del lanzamiento en distancia inicial y distancia de vuelo.

La primera de estas distancias (R_0) (sobre 17 cm para los hombres finalistas y 11 cm para las mujeres finalistas del Campeonato del Mundo de 1987) es determinada por la posición del atleta en el instante de salida (Hay, 1973). Mientras que la distancia de alcance del lanzamiento, tras perder contacto con la mano del lanzador (R_v), puede predecirse conociendo las condiciones básicas iniciales del vuelo ya que la fase aérea queda determinada totalmente por leyes físicas al tratarse de un movimiento parabólico (Gregor y cols., 1990). La interrelación entre las diferentes variables que influyen en la distancia total del lanzamiento según Hay (1973) se pueden ver gráficamente en la Figura 2.

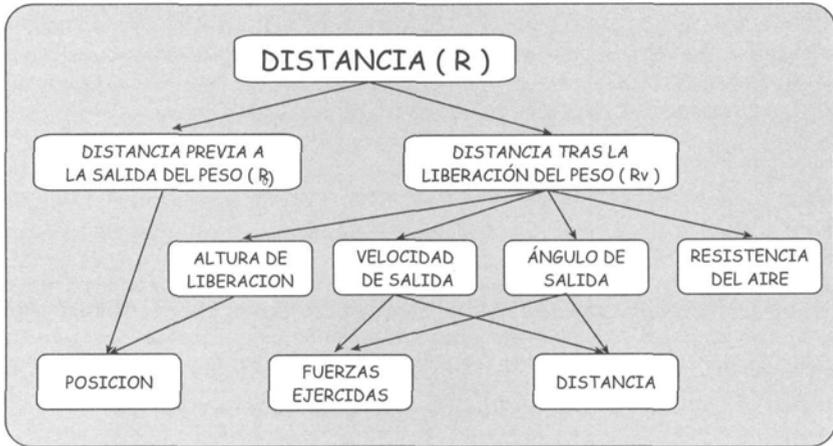


Figura 2. Factores básicos del lanzamiento de peso (adaptado de Hay, 1973 y Hay y Reid, 1982).

2.1.1 Recorrido geométrico

Según Zatsiorski y cols., (1981) existen dos puntos de vista contradictorios para establecer la trayectoria óptima del peso cuando se encuentra en contacto con la mano del lanzador. Algunos suponen que ésta debe ser recta e inclinada hacia arriba. Marhold (1974, 1970) y Schpenke (1973) (citados por Zatsiorski y cols., 1981) observaron este tipo de aceleraciones en lanzadores modernos estudiando la trayectoria desde una perspectiva lateral del movimiento (plano XZ). Dividiendo la trayectoria del peso en "parte preparatoria" y "final", se distinguieron dos tendencias. Una en la que la trayectoria del peso se aproxima hacia una línea recta en las dos fases del movimiento, y otra tendencia en la que el ángulo de la trayectoria del peso en estas dos fases es cercano a 180° . Similares resultados fueron logrados por Dessureault (1978) (citado por Zatsiorski y cols., 1981).

Grigalka (1974), (citado por Zatsiorski y cols., 1981), sin embargo, afirma que una trayectoria completamente recta no utiliza la fuerza del lanzador eficazmente. Afirma que esta trayectoria no da ninguna oportunidad para usar la capacidad de producir fuerza. En la Figura 3 (ver pág. siguiente), Línea b, se refleja indirectamente el descenso del centro de gravedad de la combinación atleta y peso tras el deslizamiento, que puede incrementar la capacidad de producir fuerza de las extremidades inferiores del atleta.

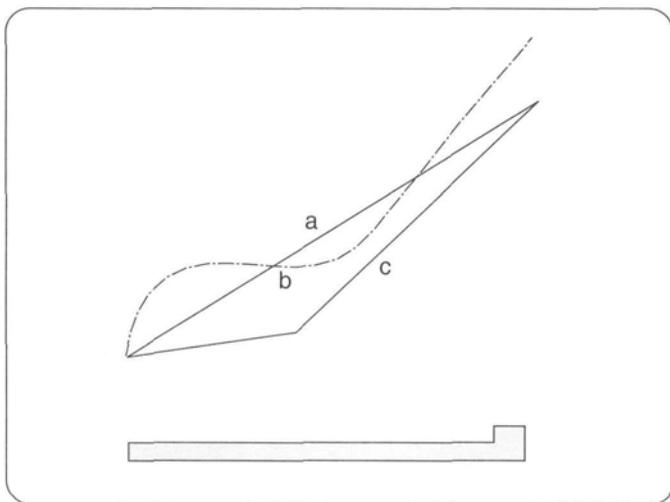


Figura 3. Trayectoria del peso desde una vista lateral derecha. La línea *a* refleja la trayectoria recta que algunos autores consideran ideal para el lanzamiento. La línea *b* representa una trayectoria en la cual el sistema atleta y peso descienden tras el deslizamiento. La línea *c* indica la tendencia a seguir la línea recta en la fase preparatoria y final con un ángulo entre estas dos trayectorias de 180° (adaptado de Grigalka, 1974; citado por Zatsiorsky y cols., 1981).

No hacer coincidir en una misma recta la velocidad del peso en el deslizamiento y en la fase de despegue provoca pérdidas en la velocidad de despegue de un 60% a un 70% (Koltai, 1974).

Otra cuestión a plantearse es si interesa hacer recta toda la trayectoria del peso o sólo la de la fase final en función del objetivo de cada período del lanzamiento (Erdozaín, 1977). La aceleración del peso se realiza fundamentalmente en la fase final del lanzamiento siendo el objetivo de las demás fases diferente. Si esto se tiene en cuenta se debería intentar lograr esta trayectoria recta sólo en la última fase del lanzamiento y no en todo el recorrido del peso.

Por otro lado, estudiando el recorrido del peso desde una perspectiva cenital (proyección sobre el plano XY) existe una teoría según la cual un lanzador puede realizar el movimiento de tal forma que la trayectoria del peso sea tan recta como sea posible. Según Zatsiorski y cols. (1981) el recorrido del peso es cercano a una línea recta sólo en pobres lanzadores cuando sus hombros se inclinan demasiado hacia la izquierda durante el despegue (trayectoria *S* en la Figura 4). El recorrido *nl* (Figura 4) es característico de resultados satisfactorios de atletas modernos, mientras que la trayectoria *nl1* se observa tanto durante intentos no satisfactorios como en atletas de menor categoría (Zatsiorski y cols., 1981; Zatsiorski, 1990).

Como síntesis se deduce que la trayectoria del peso en un plano sagital, teniendo en cuenta a la mayoría de los autores, debería seguir una línea recta que asegure la aplicación de todas las fuerzas en una única dirección, sobre todo en la última fase del lanzamiento. Mientras, desde una vista cenital, se produce una trayectoria no recta para aprovechar mejor el giro de hombros del atleta y no producir un desequilibrio de éste hacia su lado izquierdo.

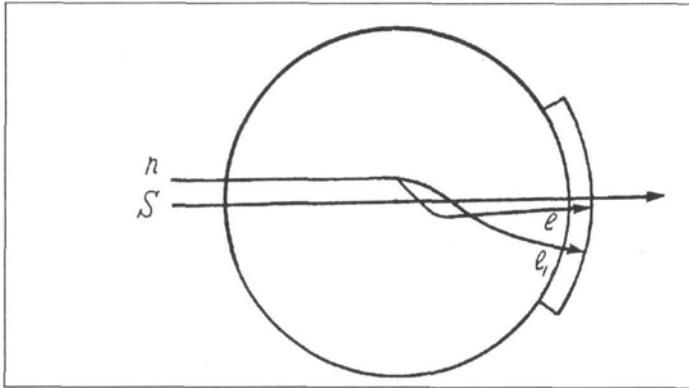


Figura 4. Trayectorias del peso registradas en lanzadores desde una perspectiva cenital (Zatsiorsky y cols., 1981).

2.2 Velocidad

Respecto a la velocidad del peso se van a comentar dos aspectos: la evolución de la velocidad del peso en la mano del lanzador y la velocidad de liberación.

2.2.1 Evolución de la velocidad del peso en la mano

La velocidad del peso fluctúa durante el lanzamiento. No se produce un incremento paulatino desde el inicio hasta la liberación, se intercalan fases de incremento y pérdida de velocidad que están determinadas por las acciones de los segmentos corporales (Zatsiorski y cols., 1981). Algunos autores como Simonyl (1973) y Doherty (1950) (citados por Zatsiorski y cols., 1981) enfatizan la importancia de alcanzar una máxima velocidad del peso en un momento inicial del lanzamiento. Otros, entre los que se pueden citar a Fidelus y Zienkovicz (1985), Schpenke (1973) o Grigalka (1970) (citados por Zatsiorski y cols., 1981), apuntan que esta velocidad debe aumentar gradualmente aunque, en realidad, los cambios tienen un carácter ondulatorio.

De acuerdo con los datos de Susanka (1974) y Fidelus y Zienkovicz (1965) (citados por Zatsiorski y cols., 1981), el peso alcanza una velocidad aproximada de 1.8-2.6 m/s durante la aceleración inicial. Durante el apoyo del pie derecho tras el deslizamiento, la velocidad cae y después aumenta considerablemente tras el contacto de la pierna izquierda con el suelo. Las mayores ganancias de velocidad coinciden con el inicio del movimiento del hombro derecho y el brazo.

Los autores que apoyan la idea del aumento gradual de la velocidad señalan como un inconveniente de la técnica de deslizamiento frente a la de rotación que la velocidad generada en la primera mitad del lanzamiento no es muy alta (1.4 a 2.8 m/s) (Larsen, 1992). En la transición entre las dos fases principales del lanzamiento lineal se produce una pérdida de velocidad (McCoy y cols., 1984). Este momento es tan importante que si se pretende rea-

lizar un análisis comparativo de las técnicas de lanzamiento uno de los puntos a ser evaluado es la eficacia de la transición a la fase de liberación (Larsen, 1992). Koltai (1974) determina como un método de mejora de la velocidad de salida del peso conservar un porcentaje superior de la velocidad del artefacto obtenida durante el deslizamiento.

La consideración del escaso aumento de la velocidad del peso en la primera parte del lanzamiento como un fallo de la técnica de deslizamiento o lineal, puede ser discutida si se tiene en cuenta que la finalidad de esta primera no es la de adquirir velocidad sino trasladar al atleta a una posición lo más adecuada posible para generar fuerza en la última fase del lanzamiento (Turk, 1997). El concepto más importante para lograr grandes rendimientos es la consecución por parte del atleta de una posición adecuada tras el deslizamiento para aplicar fuerza al peso en la fase final (McCoy y cols., 1984). Esto sugiere que un continuo incremento de la velocidad del peso no es tan importante como una acción explosiva desde la "posición de fuerza", posición que se persigue conseguir tras el deslizamiento.

La curva de la velocidad se caracteriza por un aumento durante la fase de deslizamiento, seguido de una disminución en el momento de adopción de la posición de fuerza y un explosivo aumento final hasta la liberación (Figura 5). En la práctica, desde la estabilización de la posición de fuerza, la velocidad del peso aumenta rápidamente hasta la liberación. Aproximadamente el 95% de la velocidad final es alcanzada en el último 15% del lanzamiento (McCoy y cols., 1984). En esta acción final la velocidad del peso pasa de 2.5 m/s a valores de 14 m/s en el momento de la pérdida de contacto con la mano del lanzador. Este cambio tan importante en la velocidad del artefacto se realiza en una trayectoria de unos 1.6 a 1.8 m, y la acción dura de 0.2 a 0.3 s (Koltai, 1976, citado por Martínez y Esparza, 1985). Aspectos que contradicen el principio de intentar conseguir el aumento progresivo de la velocidad a lo largo del lanzamiento.

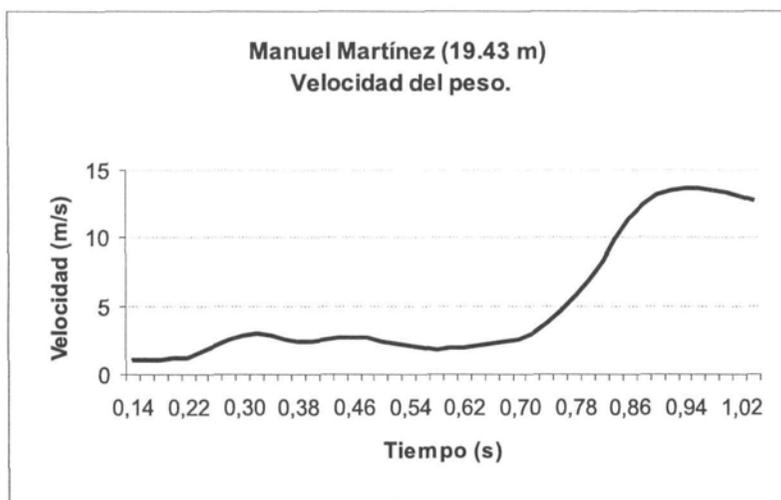


Figura 5. Evolución de la velocidad del peso en un lanzamiento de Manuel Martínez (19.43 m) con el que logró el primer puesto en el último campeonato de España de Atletismo celebrado en San Sebastián'98.

En virtud de la evolución de la velocidad del peso en la técnica lineal se pueden diferenciar dos fases fundamentales en el lanzamiento. En la primera el sistema total formado por el atleta y el peso gana velocidad, mientras en la segunda se transmiten todas las fuerzas al peso. En esta segunda fase se pueden diferenciar dos subfases. En la primera, denominada por Donskoi y Zatsiorski (1988) como "*primera mitad del impulso final*", la aceleración del peso es conseguida a través de la contracción de los músculos del tronco y transmisión de la cantidad de movimiento hacia la parte superior del cuerpo mediante la deceleración de la rotación de la parte inferior del cuerpo. Finalmente en la segunda subfase, "*segunda mitad del impulso*" final (Donskoi y Zatsiorski, 1981), mediante la contribución de la extensión del miembro superior se dirigen todas las fuerzas hacia la aceleración final del peso.

2.2.2 Velocidad de liberación

De los 3 factores que determinan en la liberación el posterior recorrido del peso (velocidad, altura y ángulo de liberación), la velocidad es el que mayor efecto tiene sobre el alcance del artefacto. Tras la velocidad de salida (V_0), la altura de liberación (h_0) es el segundo factor en importancia en la distancia de vuelo (R_v) y depende del grado técnico del atleta, de la capacidad de extensión de sus articulaciones inferiores y, sobre todo, de su estatura (Bravo, 1993). Esta variable es definida como la distancia vertical entre el peso y el suelo en el instante de liberación (McCoy y cols., 1984). Matemáticamente Aguado y cols. (1997) calculan la influencia que tiene el mismo cambio porcentual de cada una de las principales variables que influyen en la distancia de vuelo (R_v) sobre el resultado del lanzamiento ganador de Manuel Martínez (19.39 m) en el Campeonato de España Absoluto al Aire Libre celebrado en Málaga en 1996 (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto del incremento de un 5% en los valores de la velocidad de liberación (V_0), ángulo de salida (α_0) y altura de salida (h_0) en un lanzamiento de Manuel Martínez (adaptado de Aguado y cols., 1997)

VARIABLE	Valores del lanzamiento real	Incremento de un 5% en la altura de salida (h_0)	Incremento de un 5% en la velocidad de salida (V_0)	Incremento de un 5% en el ángulo de salida (α_0)
Velocidad de salida (V_0)	13.21 m/s	13.21 m/s	13.87 m/s	13.21 m/s
Angulo de salida (h_0)	35.9°	35.9°	35.9°	37.69°
Altura de salida (h_0)	2.09 m	2.19 m	2.09 m	2.09 m
Alcance horizontal (R)	19.39 m	19.52 m	21.17 m	19.59 m
Cambio en el alcance horizontal	—	0.13 m	1.78 m	0.20 m

Por otro lado es importante comentar que cambios en la velocidad y altura de libreración se traducen en diferencias en cuanto al ángulo óptimo (Tabla 2).

Tabla 2. Variación del óptimo ángulo de liberación y el alcance en relación con la altura y la velocidad de salida del peso (Hay, 1973)

Altura de salida (m)	Velocidad de salida (m/s)					
	9	10	11	12	13	14
1.8	39.9° (9.90m)	40.7° (11.87m)	41.4° (14.03m)	41.9° (16.40m)	42.3° (18.96m)	42.7° (21.73m)
2.0	39.4° (10.07m)	40.3° (12.04m)	41.0° (14.21m)	41.6° (16.57m)	42.0° (19.14m)	42.4° (21.91m)
2.2	39.0° (10.23m)	39.9° (12.21m)	40.7° (14.38m)	41.3° (16.75m)	41.8° (19.32m)	42.2° (22.09m)
2.4	38.5° (10.39m)	39.5° (12.37m)	40.3° (14.55m)	41.0° (16.92m)	41.5° (19.50m)	41.9° (22.27)

3. METODOLOGIA

En este apartado se comentan los lanzamientos estudiados, las variables seleccionadas, los protocolos de filmación y digitalización utilizados y por último los criterios seguidos en la obtención y representación de variables.

3.1 Lanzamientos seleccionados

Los lanzamientos analizados son los mejores del **LXXVII Campeonato de España Absoluto al Aire Libre** celebrado en Salamanca los días 19 y 20 de julio de 1997. En total se seleccionaron 6 lanzamientos como muestra, teniendo en cuenta que se eligen los mejores clasificados en categoría masculina y femenina con técnica lineal. Los lanzamientos del concurso masculino y los que seleccionamos para el análisis de este trabajo quedan reflejados en la Tabla 3 y en la Tabla 4 se pueden ver los correspondientes al concurso femenino.

Tabla 3. Resultado del concurso de lanzamiento de peso masculino en el Campeonato de España al aire libre celebrado en Salamanca 1997 y lanzamientos seleccionados para su análisis

Pto	Dor	NOMBRE/CLUB	1	2	3	4	5	6	RES.
1	161	MARTINEZ, MANUEL LARIOS-A.A.M.	19.67	19.60	19.82	19.81	19.97	20.27	20.27
2	709	MEDINA, JOER VENEZUELA	18.25	18.69	X				18.69

Tabla 3. Continuación

Pto	Dor	NOMBRE/CLUB	1	2	3	4	5	6	RES.
3	139	MARTINEZ, JOSE LUIS LARIOS-A.A.M.	18.00	18.17	18.04	18.65	18.18	18.51	18.65
4	70	GERONES, CARLES F.C. BARCELONA	17.11	X	X	17.44	X	17.03	17.44
5	252	JEREMIAS, RAMON UNIV. OVIEDO	17.06	17.21	X	17.14	X	X	17.21
6	147	VIEJO, ALBERTO LARIOS, A.A.M.	16.50	16.39	16.73	16.82	X	X	16.82

Tabla 4. Resultado del concurso de lanzamiento de peso femenino en el Campeonato de España al aire libre celebrado en Salamanca 1997 y lanzamientos seleccionados para su análisis

Pto	Dor	NOMBRE/CLUB	1	2	3	4	5	6	RES.
1	486	RAMOS, MARGARITA	X	16.48	16.70	17.66	16.92	X	17.66
2	559	DE LA PUENTE, MAR.	17.29	X	16.49	17.03	X	X	17.29
3	595	ORTS, ESPERANZA	14.56	14.62	14.46	14.50	14.54	14.96	14.96

3.2 Variables seleccionadas

Se analizaron la parte superior del tronco, la línea de hombros y el miembro superior del lanzamiento, en la fase previa a la libración (*impulso final*), período que comienza con el inicio de la extensión de ambas piernas y finaliza con la liberación del peso. Como la fase del lanzamiento que se analiza tiene en cada atleta una duración diferente se normalizó el tiempo, de manera que a la duración total de la fase se le dio el valor 1. Se analizaron las siguientes variables:

1. La proyección de los segmentos corporales en los tres planos del espacio (XY, XZ e YZ) en función del tiempo.
2. La descripción de las coordenadas X, Y y Z de los puntos que definen los segmento en función del tiempo.
3. Las coordenadas X, Y y Z del peso.
4. La velocidad y aceleración del peso.

3.3 Filmaciones

Se filmaron los lanzamientos en vídeo S-VHS, sistema PAL-SECAM mediante un camascopio MS1 Panasonic que hacía de master y sincronizada con ella una cámara de circuito cerrado WV-BL6000 Panasonic que actuaba de esclava. Se muestreó a 50 Hz con una velocidad de obturación de 1/1000 s. Las distancias de las cámaras hasta el centro del círculo de lanzamiento fueron en el caso del lanzamiento masculino: camascopio MSI (14.2 m) y cámara de circuito cerrado WV-BL600 (9 m). En la prueba femenina fueron: de camascopio MSI (15.7 m) y cámara de circuito cerrado WV-BL600 (10.1 m).

Las conexiones establecidas entre los diferentes equipos y las distancias a las que se colocaron las cámaras en el concurso masculino quedan reflejadas en la Figura 6.

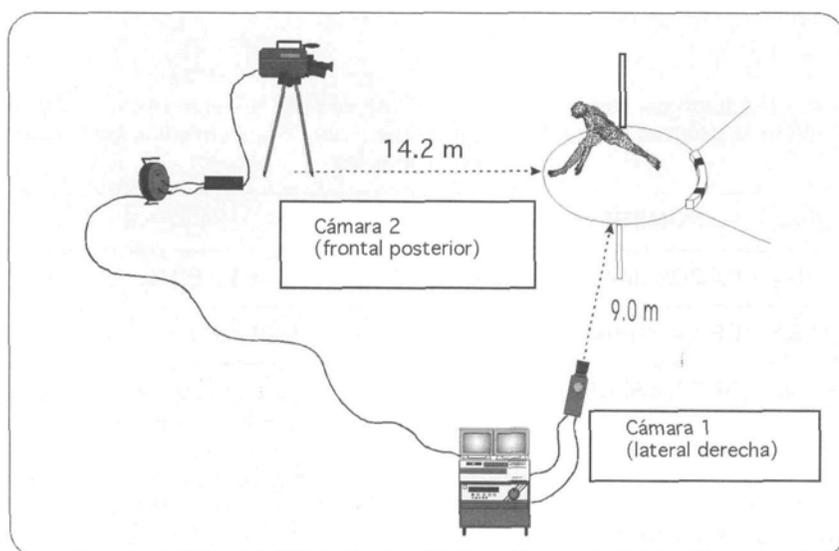


Figura 6. Disposición de los equipos de filmación de los equipos de filmación en el concurso masculino en el Campeonato de España Absoluto de Atletismo al Aire Libre Salamanca'97.

Se filmó un sistema de referencias cúbico de 2 x 2 x 2 m, formado por 12 barras rígidas de aluminio y conectadas entre sí con 8 puntos control en sus vértices (Figura 7). Esta estructura se eleva 16.4 cm del suelo y el círculo de lanzamiento se encuentra hundido 2 cm respecto a la superficie sobre la que se apoya el sistema.

Se marcaron eventos en cada lanzamiento por medio de LEDs luminosos que, durante la filmación se encendían a la vez delante de ambas cámaras con un pulsador.

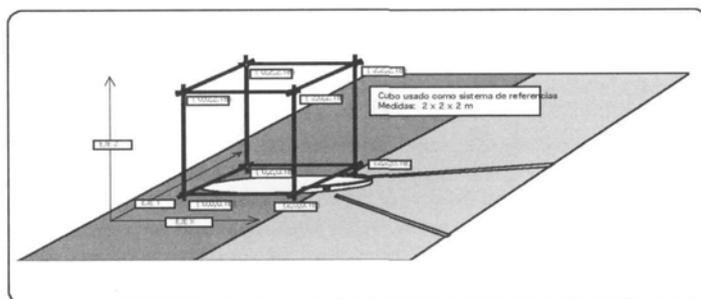


Figura 7. Sistema de referencias cúbico usado.

3.4 Análisis de las filmaciones

Se usó el programa Fotogrametría v. 8.0 IBV. En el proceso de digitalización se empleó un modelo de 25 puntos reales y 2 puntos auxiliares, en total 27 puntos. Entre estos puntos se definieron 20 conexiones (barras o uniones entre puntos) que conformaban los diferentes segmentos del cuerpo humano (Figura 8). En esta memoria se presenta simplemente el análisis de 8 de estos puntos, que definen los segmentos: mano, antebrazo y brazo de lanzamiento, línea de hombros, parte superior del tronco y peso.



Figura 8. Modelo peso1.mod utilizado durante el proceso de digitalización.

Se utilizó para el suavizado funciones **splines** de quinto orden, con el método estadístico **GCV** (Generalized Cross-Validation), basado en el paquete de software **GCVSPL** desarrollado por Herman J. Woltring (1986). Para realizar un suavizado más depurado se realizaron cinco digitalizaciones de un mismo lanzamiento masculino y cinco de uno femenino. Se exportaron las coordenadas de las digitalizaciones sin suavizar a la hoja de cálculo Excel 97 y se calcularon anovas de cada coordenada de cada punto, en los dos casos, para comprobar la similitud de las digitalizaciones. Tras realizar esta comprobación se calcularon las desviaciones típicas de las coordenadas de todos los puntos del modelo en todos los instantes del lanzamiento. De cada coordenada se eligió la máxima desviación típica que se producía durante el transcurso de todo el lanzamiento. Con ello se construyeron dos matrices de pesos, una para los lanzamientos masculinos y otra para los femeninos. Estos valores fueron los introducidos en la matriz de desviaciones típicas que se usa para el suavizado.

3.5 Criterios utilizados

Los criterios para el cálculo y representación de las variables fueron:

- El **eje X** se tomó en función de la dirección principal del movimiento siendo su valor creciente en el sentido de avance del lanzador.
- El **eje Y** es perpendicular al eje X y horizontal. Es positivo y creciente de derecha a izquierda desde el punto de corte con el eje X desde una perspectiva posterior.
- El **eje Z** es perpendicular a estos dos ejes y tiene una dirección vertical, siendo creciente desde el punto de corte con los ejes X e Y en sentido ascendente.
- El **origen de coordenadas**, punto (0, 0, 0), se sitúa en el punto de corte de los tres ejes.
- Los ángulos siempre tienen un **valor creciente en el sentido horario y decreciente en sentido antihorario**.
- El ángulo calculado en la **proyección XY** es denominado siempre **a** y en el caso de las proyecciones de un segmento en este plano se calcula el ángulo teniendo como referencia del **eje X** con la proyección del segmento en este plano.
- El ángulo calculado en la **proyección XZ** es denominado siempre **b** y en el caso de las proyecciones de un segmento en este plano se calcula el ángulo a partir del **eje Z** con la proyección del segmento en este plano.
- El ángulo calculado en la **proyección YZ** es denominado siempre **g** y en el caso de las proyecciones de un segmento en este plano se calcula el ángulo a partir del **eje Z** con la proyección del segmento en este plano.
- Las figuras en las que se representan la evolución de las proyecciones de segmentos siguen el sentido de izquierda a derecha.

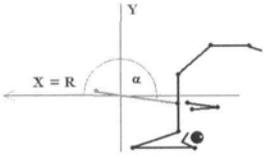
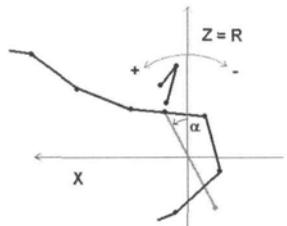
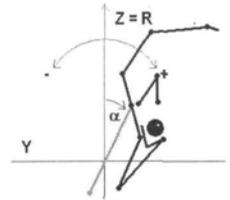
4. RESULTADOS

Los resultados se presentan divididos en apartados en los que se describe por separado el comportamiento del tronco, la línea de hombros, el brazo y el antebrazo. También se incluyen las desviaciones típicas medias de toda la fase de las coordenadas y proyecciones estudiadas.

4.1 Tronco

El tronco desde una visión cenital realiza un giro en sentido horario con traslación del centro de hombros desde una posición inicial, retrasado respecto al punto tronco (X_0 centro de hombros: $1.33 \pm 0.05\text{m} < X_0$ tronco: $1.44 \pm 0.03\text{m}$) y a su derecha desde una visión posterior (angulación positiva inicial, proyección YZ), hasta terminar colocándose delante y en el lado izquierdo respecto a éste. Este movimiento se combina con el de elevación desde una flexión inicial hacia la parte posterior del círculo de lanzamiento (proyección XZ inicial: $-35.1 \pm 7.3^\circ$) hasta terminar ligeramente flexionado hacia delante (proyección XZ final: $8.6 \pm 5.2^\circ$). La inclinación lateral respecto al eje Z cambia de derecha (proyección YZ inicial: $16.5 \pm 9.3^\circ$) a izquierda (proyección YZ final: $-20.6 \pm 9.2^\circ$) (Tabla 5).

Tabla 5. Definición gráfica del ángulo calculado respecto a cada proyección del tronco, evolución y media de las desviaciones típicas

Proyección	Evolución	Valor medio inicial	Valor medio final	Media Desviaciones típicas
XY	AUMENTO	168.3°	307.9°	27.71°
XZ	AUMENTO	-27.6°	8.3°	6.91°
YZ	DESCENSO	4.5°	-11.6°	8.84°

La altura del centro de hombros y el punto digitalizado como tronco (puntos extremos del segmento tronco), estudiado a través de la evolución media de sus coordenadas Z (Figura 9), aumenta progresivamente mientras el centro de hombros está siempre por encima del tronco. La distancia entre ellos se mantiene prácticamente constante como efecto de haberse realizado en fases anteriores un erguimiento considerable del tronco hacia su posición vertical.

De la evolución de la coordenada Y (Figura 9) se deduce el comportamiento de estos puntos desde una vista cenital tomando como referencia el eje X. El punto del centro de hombros y tronco se cruzan en su trayectoria lo que confirma el cambio en la inclinación lateral del tronco de derecha a izquierda en esta fase.

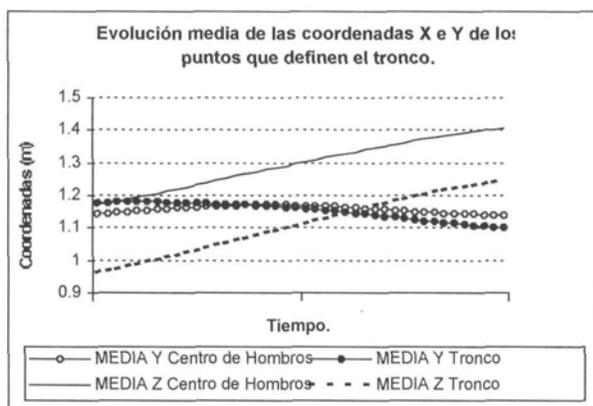
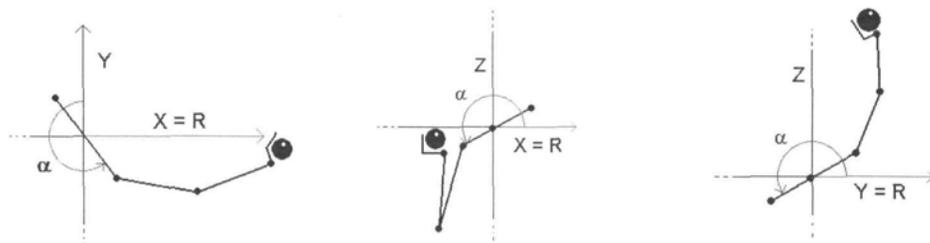


Figura 9. Evolución de las coordenadas X, Y y Z de los puntos que definen el tronco.

4.2 Línea de hombros

La línea de hombros realiza un giro antihorario desde una vista cenital caracterizado por el descenso del ángulo proyectado en el plano XY desde un valor inicial de $-163.5 \pm 17.0^\circ$ hasta finalizar en $-320.8 \pm 19.8^\circ$. En la posición inicial de esta fase, el atleta mantiene sus hombros mirando hacia atrás. Al liberar el peso, el hombro derecho termina adelantado respecto al izquierdo (proyección XY final: $-320.8 \pm 19.8^\circ$) y por encima (proyección XZ final: $235.1 \pm 10.3^\circ$) (Tabla 6).

Tabla 6. Definición gráfica del ángulo calculado respecto a cada proyección de la línea de hombros, evolución y media de las desviaciones típicas



Proyección	Evolución	Valor medio inicial	Valor medio final	Media Desviaciones típicas
XY	AUMENTO	68.8°	211.8°	17.04°
XZ	AUMENTO	167.0°	242.1°	52.76°
YZ	AUMENTO	70.9°	215.1°	15.23°

La evolución de la coordenada Z (Figura 10) refleja la diferencia de altura inicial entre los hombros (Z_0 hombro derecho: 1.13 ± 0.02 m < Z_0 hombro izquierdo: 1.37 ± 0.04 m). Hacia la mitad de esta fase se igualan sus alturas y termina el hombro derecho por encima del izquierdo (Z final hombro derecho: 1.62 ± 0.05 m > Z final del hombro izquierdo: 1.47 ± 0.04 m). El estudio de sus coordenadas Y (Figura 10) muestra el giro de hombros y refleja el cambio de posición que realizan durante esta fase.

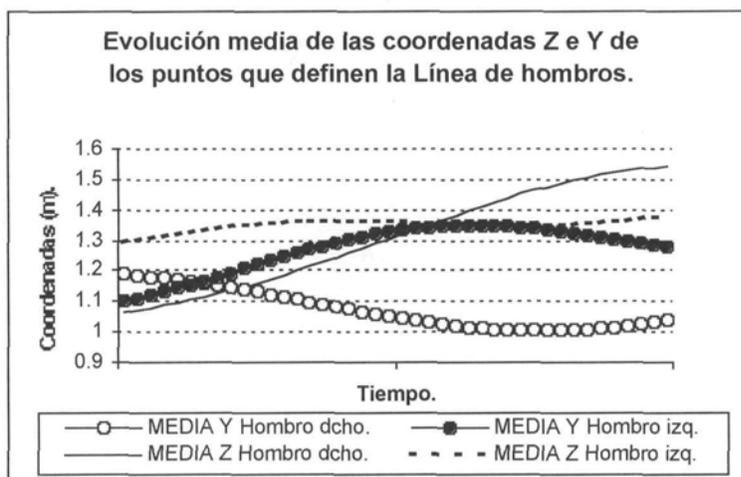
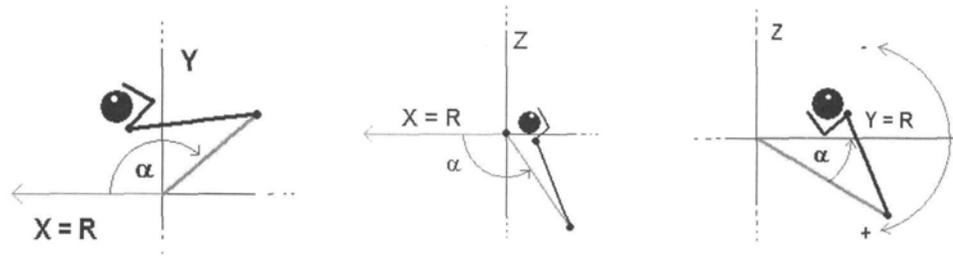


Figura 10. Evolución de las coordenadas X, Y y Z de los puntos que definen la línea de hombros.

4.3 Brazo

El brazo realiza también un giro antihorario desde la perspectiva cenital. Inicialmente el codo se sitúa retrasado, por debajo y a la derecha, desde una vista posterior, respecto al hombro derecho. El giro se refleja en el descenso de la proyección XY desde un valor inicial de $-13.0 \pm 12.9^\circ$ hasta finalizar cerca del eje X, eje ideal de lanzamiento, con $-181.1 \pm 14.3^\circ$ (Tabla 7). Este dato es necesario relacionarlo con el movimiento de la línea de hombros para comprobar la existencia de variaciones en el movimiento de la articulación del hombro. Estudiando el ángulo proyectado en el plano XY entre el brazo y la línea de hombros, se observa cómo al inicio el ángulo es de $150.2 \pm 20.2^\circ$ y asciende hasta $172.4 \pm 11.1^\circ$ para descender finalmente hasta $139.7 \pm 9.9^\circ$.

En este caso concreto aparece un artefacto metodológico en uno de los casos estudiados debido al sistema de cálculo de los ángulos del programa usado. El programa cambia la referencia para el cálculo del ángulo si existe un instante en el que coincide la proyección XZ del codo y el hombro derecho.

Tabla 7. Definición gráfica del ángulo calculado respecto a cada proyección del brazo, evolución de su valor y media de las desviaciones típicas


Proyección	Evolución	Valor medio inicial	Valor medio final	Media Desviaciones típicas
XY	DESCENSO	170.0°	14.3°	11.16°
XZ	AUMENTO	121.0°	318.4°	14.3°
YZ	DESCENSO	82.9°	-72.7°	11.6°

El codo comienza en todos los casos por debajo y retrasado con respecto al hombro derecho (Z_0 codo: 0.87 ± 0.05 m < Z_0 hombro: 1.13 ± 0.02 m) y paulatinamente va incrementando su altura terminando por delante y sobre el hombro derecho (Z final codo derecho: 1.79 ± 0.04 m > Z final hombro: 1.62 ± 0.05 m). Desde una perspectiva lateral derecha se observan dos casos diferentes. Uno en el que el codo pasa por encima del hombro derecho (giro en sentido horario) reflejado por un aumento de la proyección XZ del brazo desde $34.8 \pm 9.8^\circ$ hasta $234.4 \pm 5.5^\circ$. Otro caso en el que el codo pasa por debajo del hombro derecho (giro antihorario), en este caso la proyección XZ del brazo desciende desde $36.2 \pm 0.9^\circ$ hasta $-124.5 \pm 3.7^\circ$.

La trayectoria de la coordenada Y (Figura 11) del hombro (desde una vista cenital) describe una curva suave mientras que el codo derecho traza una curva mucho más pronunciada y abierta con separación del hombro al inicio y acercamiento en la liberación.

4.4 Antebrazo

La interpretación de los cambios que se producen respecto a la proyección XY del antebrazo es que al iniciar el gesto la extremidad superior de lanzamiento se encuentra flexionada, sujetando el artefacto, postura que se mantiene hasta el instante 0.5 del tiempo normalizado. En este periodo la proyección XY del antebrazo desciende su valor desde $-135.1 \pm 13.5^\circ$ hasta $-193.5 \pm 12.9^\circ$. Tras este movimiento comienza la extensión del brazo con lo que se acerca al eje X de lanzamiento y aumenta el valor de la proyección XY del antebrazo respecto al eje X hasta $-164.4 \pm 20.2^\circ$. En los instantes finales del lanzamiento se produce un descenso de esta proyección hasta $-179.0 \pm 18.9^\circ$ (Tabla 8).

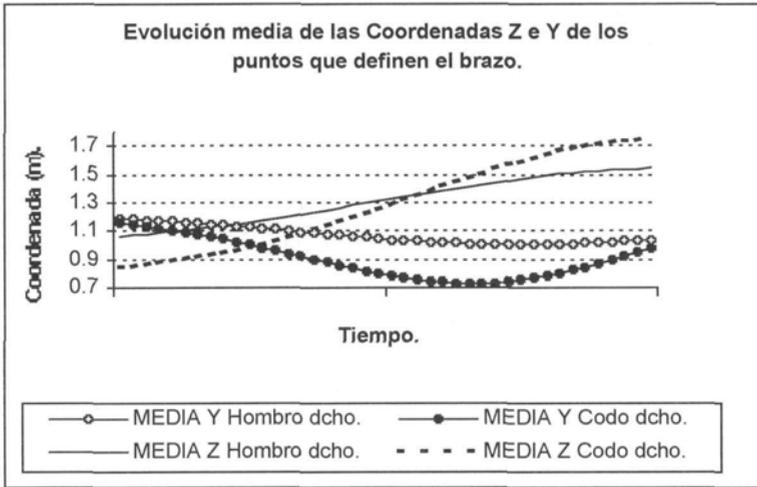
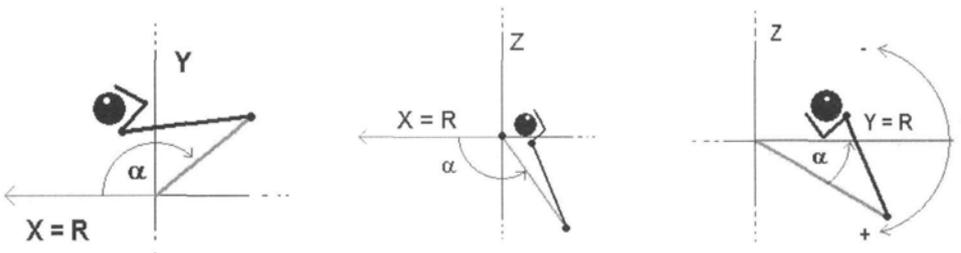


Figura 11. Evolución de las coordenadas X, Y y Z de los puntos que definen el brazo de lanzamiento.

Tabla 8. Definición gráfica del ángulo calculado respecto a cada proyección del antebrazo, evolución de su valor y media de las desviaciones típicas



Proyección	Evolución	Valor medio inicial	Valor medio final	Media · Desviaciones típicas
XY	DESCENSO	48.7°	-14.2°	14.4°
	AUMENTO	-14.2°	22.8°	
	DESCENSO	22.8°	21.17°	
XZ	DESCENSO	61.5°	34.4°	5.2°
	AUMENTO	34.4°	45.8°	
YZ	DESCENSO	31.9°	-17.9°	14.7°
	AUMENTO	-17.9°	23.8°	
	DESCENSO	23.8°	21.1°	

La evolución del ángulo del codo refleja cómo al inicio la flexión del codo es de $35.9 \pm 5.2^\circ$. Hasta el instante 0.5 del tiempo normalizado el codo se mantiene flexionado, en ese momento el valor del ángulo de extensión del codo es de $57.2 \pm 8.4^\circ$, tras lo cual se produce una rápida extensión que alcanza un valor final de $169.3 \pm 3.6^\circ$. El aumento en la primera mitad de la fase final es de 21.3° mientras que en la segunda mitad se produce una extensión de 112.1° .

Según el comportamiento de la coordenada Z de los tres puntos que definen la extremidad superior de lanzamiento (hombro, codo y muñeca derechos) (Figura 12) el codo se encuentra a un nivel inferior respecto a los otros dos al inicio. Hacia la mitad de la fase se produce un acercamiento entre sus alturas aunque los tres han ascendido. El codo se acerca al nivel del hombro mientras que la muñeca se sitúa por encima. Tras la mitad de la fase, el codo sobrepasa el nivel del hombro y la muñeca sigue manteniéndose siempre por encima. Es de destacar cómo el codo siempre se sitúa por debajo de la muñeca. De la evolución de la proyección XZ se deduce que en la primera parte en la que se produce un aumento desde $31.1 \pm 5.5^\circ$ hasta $56.1 \pm 4.1^\circ$, el codo se eleva más que la muñeca, proceso inverso al que ocurre en una segunda etapa en la que desciende hasta $45.0 \pm 4.7^\circ$ y posteriormente, en los instantes finales aumenta hasta $46.5 \pm 5.5^\circ$ (Tabla 8).

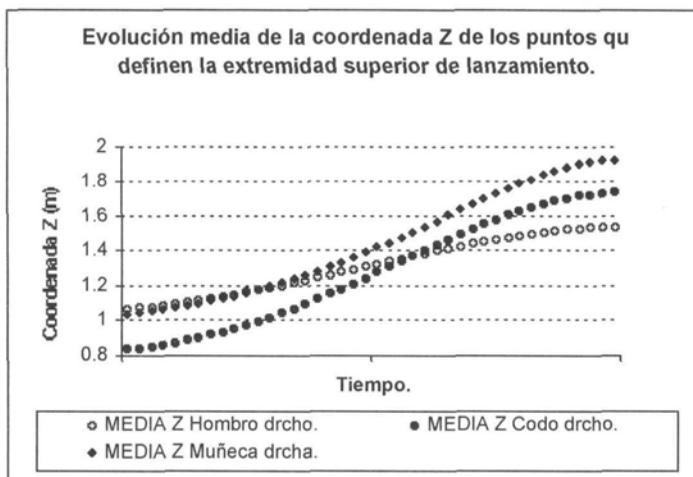


Figura 12. Evolución de la coordenada Z del hombro derecho, codo derecho y muñeca derecha.

Desde la parte posterior se observaría cómo al inicio de la fase final el antebrazo se encuentra en una posición con el codo más desplazado a la izquierda que la muñeca, que se encuentra más arriba y hacia la derecha (proyección YZ inicial: $31.5 \pm 9.8^\circ$). Al iniciarse el giro y elevación del conjunto brazo y antebrazo, manteniéndose la flexión de la extremidad de lanzamiento, el codo sale por fuera de la muñeca cambiando la inclinación del antebrazo (descenso del valor de la proyección YZ hasta: $-17.6 \pm 17.5^\circ$). Tras la elevación y la apertura del brazo es el momento de inicio de la extensión del codo, por lo que la muñeca comienza a desplazarse hacia delante y sale de nuevo por fuera del codo (valor de la proyección YZ: $16.9 \pm 20.4^\circ$). Finaliza esta fase con un descenso del valor de esta proyección

que acerca a la extremidad superior de lanzamiento hacia la dirección del lanzamiento ideal (proyección final YZ: $2.5 \pm 18.9^\circ$) (Tabla 8).

La evolución de la coordenada Z de los puntos que definen el antebrazo (codo y muñeca) indica cómo ambos incrementan su altura en todo momento, estando siempre la muñeca por encima del codo (Figura 13). Respecto a la evolución de la coordenada Y se deduce desde una visión posterior del movimiento cómo el codo comienza al inicio de la fase, más hacia la izquierda que la muñeca. Durante el giro del cuerpo el codo llega a salir por fuera de la trayectoria que sigue la muñeca para terminar en la liberación por dentro respecto a ésta (Figura 13).

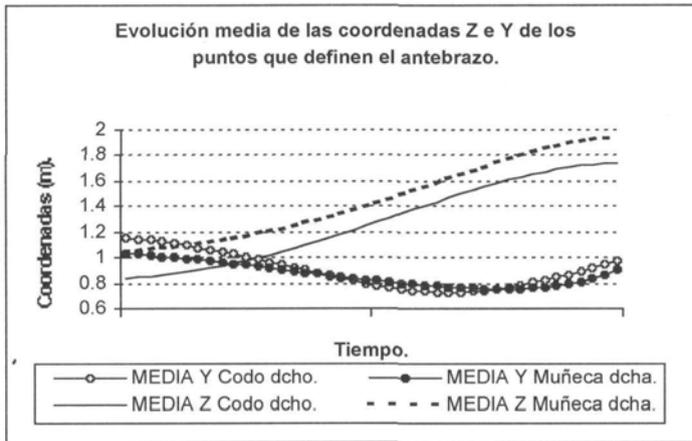


Figura 13. Evolución de las coordenadas X, Y y Z de los puntos que definen el antebrazo.

4.5 Desviaciones típicas de las proyecciones y coordenadas

En la Tabla 9 se reflejan las desviaciones típicas medias durante esta fase de las coordenadas X, Y y Z, observándose que éstas son bajas, situándose entre 0.03 m y 0.14 m. También se puede ver que las medias de las desviaciones típicas de las proyecciones de los diferentes segmentos son también bajas siendo la más alta la de la proyección XZ de la línea de hombros (28.0°).

Tabla 9. Medias de las desviaciones típicas calculadas de las coordenadas de cada punto y la proyección de cada segmento estudiado

	Codo	Centro de	Hombro	Hombro	Mano derecha	Tronco
Coordenada X	0.08 m	0.05 m	0.06 m	0.07 m	0.07 m	0.03 m
Coordenada Y	0.10 m	0.08 m	0.07 m	0.08 m	0.12 m	0.06 m
Coordenada Z	0.05 m	0.10 m	0.03 m	0.04 m	0.05 m	0.03 m

[continúa]

Tabla 9. Continuación

	Proyección XY	Proyección XZ	Proyección YZ
Tronco	27.71°	6.91°	8.84°
Línea de Hombros	17.04°	52.76°	15.23°
Brazo	11.16°	14.38°	11.65°
Antebrazo	14.45°	5.21°	14.76°

5. DISCUSIÓN

Relacionando el estudio de la extensión del codo y la evolución de la coordenada Z de los puntos que definen la extremidad superior, se deduce que hasta la mitad temporal de esta fase el codo se mantiene flexionado, produciéndose simplemente la elevación de esta extremidad. En función de la acción de la extremidad de lanzamiento se pueden diferenciar dos periodos en la fase final del lanzamiento. La primera etapa comprendería desde el inicio de la fase final hasta el instante 0.5 del tiempo normalizado. En ésta se produce un giro en sentido antihorario del conjunto de la línea de hombros y la extremidad superior de lanzamiento que se encuentra flexionada. Esto se refleja en el descenso de la proyección XY de estos tres segmentos. En esta primera mitad se produce también el inicio del giro en sentido horario del tronco. El movimiento de la línea de hombros eleva el hombro derecho sobre el izquierdo lo que produce la elevación subsiguiente de la extremidad superior.

En la segunda mitad de la fase final se produce la extensión de la extremidad superior. Se finaliza el giro del tronco y de la línea de hombros. El tronco finaliza inclinado hacia delante y hacia la izquierda desde una perspectiva posterior, con el hombro derecho por delante del izquierdo y por encima de éste. En el momento en que el codo se acerca a la altura del hombro derecho se inicia su extensión. La extensión se completa hasta finalizar esta fase con la muñeca por encima y siendo el punto menos elevado el hombro derecho. El codo se sitúa en una posición intermedia entre el hombro y la muñeca. La extremidad superior de lanzamiento termina extendida próxima a la dirección ideal del lanzamiento con una inclinación del brazo sobre la horizontal de 35.13°.

El movimiento de la articulación del hombro no es muy pronunciado. Durante toda la fase final se produce un giro antihorario, visto desde arriba, de la línea de hombros y el brazo en su prolongación. El antebrazo durante la primera mitad, en la que la extremidad superior está flexionada, sigue este giro para posteriormente comenzar un giro en sentido horario producido por la extensión del codo.

5.1 Aplicación práctica al entrenamiento

El ejercicio de *press de banca* en el que se contraen los músculos pectoral mayor y menor, la porción anterior y media del deltoides y el tríceps braquial (Hartman y Tünemann, 1996) es básico en el trabajo de fuerza en lanzadores. Este ejercicio trabaja específicamente el

tríceps braquial, músculo primordial en la extensión de la extremidad superior, clave en la acción final del lanzador. Para lograr una mayor especificidad de este ejercicio se realiza el *press de banca inclinado* intentando que la extensión de la extremidad superior se realice con el mismo ángulo respecto al tronco que en situación real (Hartman y Tünemann, 1996). La especificidad de esta variación quedaría en entredicho al comprobarse que el cambio del ángulo de la articulación del hombro que se realiza en competición es mínimo. Nosotros recomendamos más bien trabajar la musculatura encargada de realizar el giro de la línea de hombros y los extensores del brazo por ser acciones más similares al lanzamiento.

Para lograr la construcción de ejercicios especiales de fuerza en lanzadores se debería tener en cuenta las acciones descritas del tronco y la línea de hombros y reproducirlas en el entrenamiento. Por ello proponemos realizar una variante adaptando el ejercicio a la estructura espacial del movimiento de competición estudiado.

Éste se podría hacer con gomas elásticas, con tensores colocados en la pared, con un sistema de cuerda polea o con un peso cuyo recorrido fuera marcado por una guía (Grosser y Neumaier, 1986). En este caso el ejercicio se realizaría en bipedestación con un respaldo inclinado hacia atrás, aproximadamente 35° , semejando la proyección inicial del tronco sobre el plano XZ ($-35.1 \pm 7.3^\circ$). El respaldo debería llevar un eje vertical que permitiera el giro de la línea de hombros hasta -163° (proyección inicial XY de este segmento). Colocando la espalda con esta inclinación y girada la línea de hombros hacia atrás, con el hombro izquierdo por encima del derecho, se consigue reproducir la posición inicial del tronco en la fase final de lanzamiento. Desde una visión posterior puede producirse una ligera inclinación lateral del tronco hacia la derecha. Desde la misma visión el codo se coloca a la izquierda respecto al hombro derecho.

En esta posición el tensor, la goma o la resistencia elegida debería poderse coger con la mano derecha contra el cuello simulando la sujeción del peso. La mejor opción es realizar el ejercicio con un peso con guía ya que permitiría soltar al final la resistencia logrando la reproducción del movimiento competitivo (Figura 14).

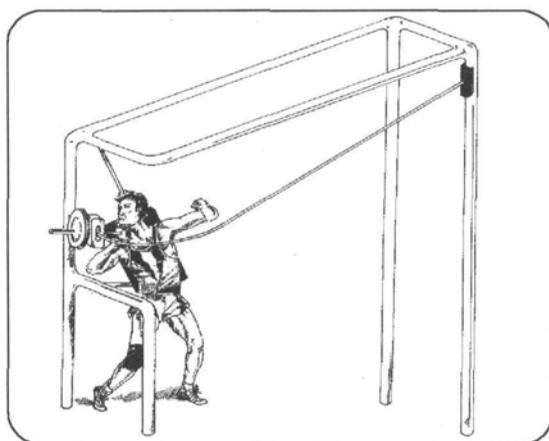


Figura 14. Simulador que permite trabajar la fuerza de la extremidad superior en condiciones mecánicas que se acercan a las de la competición.

Hay que tener en cuenta que la resistencia se debe colocar de tal forma que la fuerza se realice un cierto ángulo respecto a la horizontal de manera que el atleta tire hacia arriba, tal y como se produce en la competición, en la que todos los puntos de los segmentos se dirigen en sentido ascendente. Desde esta posición se inicia el movimiento con el simultáneo giro de la línea de hombros y la extremidad superior derecha en prolongación de ésta, manteniendo la flexión del codo (apertura hacia fuera de la extremidad superior de lanzamiento) y la elevación del tronco. El tronco se inclina levemente hacia la izquierda durante el giro de hombros. Produciéndose igualmente durante este movimiento la paulatina elevación del hombro derecho que se sitúa, en la liberación, por encima del izquierdo. El brazo flexionado sigue en su movimiento hacia delante, hacia afuera y hacia arriba produciéndose el inicio de la extensión del codo momentos antes de que se igualen la altura del codo y el hombro derechos.

Esta extensión se realiza hacia arriba, con elevación del codo y muñeca hasta la finalización del movimiento. El brazo se extiende por delante e inclinado hacia arriba. El tronco se inclina ligeramente hacia delante. El movimiento teóricamente perfecto terminaría con el brazo en la dirección ideal del lanzamiento, aspecto que se puede entrenar intentando que el brazo finalice con la menor desviación posible respecto a la dirección del eje X al finalizar este ejercicio. Siguiendo la técnica de lanzamiento descrita, con este ejercicio se entrenaría conjuntamente la técnica y la preparación física del atleta.

6. CONCLUSIONES

La variabilidad de los resultados es muy pequeña entre los lanzadores estudiados. Así se comprueba la existencia de un gesto muy similar de la extremidad superior de lanzamiento en la fase final.

En la fase final del lanzamiento de peso el movimiento de la articulación del hombro es poco pronunciada, aspecto que contrasta con el entrenamiento de los músculos pectorales con ejercicios de *press de banca*. Sin embargo las acciones de giro de la línea de hombros y torsión del tronco se revelan más determinantes.

El brazo de lanzamiento se mueve en prolongación de la línea de hombros en el giro final de la parte superior del cuerpo. De cara al entrenamiento esto supone una priorización de los ejercicios de torsión del tronco y giro de la línea de hombros frente al trabajo de los músculos pectorales.

La aceleración del peso se realiza con el tronco en una posición casi erguida, se pasa de una flexión hacia la parte posterior del círculo hasta terminar con una flexión hacia el frente. Este análisis ayuda a definir la posición de realización de los ejercicios de entrenamiento, en los que además de simular el movimiento de los diferentes segmentos implicados, éstos se mantienen en una posición corporal cercana a la real.

Los estudios cinemáticos del movimiento del deportista revelan diferentes aspectos que pueden mejorar el entrenamiento, logrando una mayor especificidad y posibilitando una localización mejor de las acciones que deben ser trabajadas. La metodología aplicada al análisis del lanzamiento de peso es transferible a otras modalidades deportivas, aunque en cada caso se deberán determinar los segmentos corporales que se quieren estudiar, para la posterior construcción de ejercicios.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AGUADO, X. (1993) "Eficacia y técnica deportiva. Análisis del movimiento humano". INDE. Barcelona.
- AGUADO, X.; BURÓN, C.; IZQUIERDO, M. y LÓPEZ, J. L. (1997) "Análisis biomecánico del lanzamiento de peso: técnica lineal frente a la técnica en rotación". *RΣD, Revista de Entrenamiento Deportivo*, XI, 1: 27-32.
- AGUADO, X.; ALONSO, A.; BERMEJO, I.; GONZÁLEZ, J. L. y LÓPEZ, J. L. (1998) "Representación realista en 3D de la técnica deportiva". Cap. 2, 5-18. Universidad de León. León.
- AGUADO, X.; GRANDE, I.; MEANA, M. y LÓPEZ, J. L. (1999) "Sincronización versus secuenciación de los impulsos parciales. A raíz de un estudio de los mejores atletas españoles de lanzamiento de peso". *Archivos de Medicina del Deporte*. Sometido a revisión para publicación.
- BRAVO, J. (1993) "Lanzamiento de peso". En *Atletismo (III)*. Comité Olímpico Español. Madrid: 13-101.
- BURÓN, C. (1993) "Los lanzamientos en el mundial de Stuttgart y la preparación de Manuel Martínez" Capítulo 9 en "Campeonato Mundial de stuttgart'93. El entrenamiento de los atletas más destacados". Cuadernos de Atletismo, nº 33. Primeras jornadas técnicas ENE. Escuela Nacional de Entrenadores. Centro de Documentación, Real federación española de Atletismo. Madrid.
- DONSKOI, D. y ZATSIORSKY, V. (1988) "Biomecánica de los ejercicios físicos". Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Cuba.
- ERDOZAIN, M. A. (1977) "Trayectoria de desplazamiento del peso durante el lanzamiento". *Revista Española de Atletismo*. 81-82: 17-23.
- GONZÁLEZ, J. L.; BERMEJO, I.; GRANDE, I.; MEANA, M.; LÓPEZ, J. L. y AGUADO, X. (1998) "Análisis comparativo de los lanzamientos de peso de Manolo Martínez en los Campeonatos de España de Atletismo de 1996 y 1997". En: *Biomecánica aplicada al deporte I*, Cap.17, 127-130. Universidad de León. León.
- GRANDE, I.; MEANA, M.; LÓPEZ, J. L. y AGUADO, X. (1998 a) "Aplicación al entrenamiento del estudio cinemático del lanzamiento de peso". En: *Biomecánica aplicada al deporte I*, Cap.19, 133-168. Universidad de León. León.
- GRANDE, I. (1998 b) "Estudio cinemático de la fase final del lanzamiento de peso en los mejores atletas españoles. Aplicación al entrenamiento de la fuerza por medio de ejercicios especiales". Tesis Laboratorio de Biomecánica INEF de León. León.
- GRANDE, I.; MEANA, M.; LÓPEZ, J. L. y AGUADO, X. (1999 a) "Aplicación al entrenamiento especial de la fuerza del estudio cinemático del lanzamiento de peso". *Archivos de Medicina del Deporte*. Aceptado: pendiente de publicación.
- GRANDE, I.; MEANA, M.; LÓPEZ, J. L. y AGUADO, X. (1999 b) "Biomecánica de los miembros inferiores en la técnica lineal del lanzamiento de peso". *Archivos de Medicina del Deporte*. Aceptado: pendiente de publicación.
- GRIGALKA, O. y PAPANOVA, V. (1980) "Shotput Technique Analysis: Udo Beier". *Soviet Sport Review*. 15(1) 34-36.
- GREGOR, R. J.; MCCOY, R. y WHITTING, W. C. (1990) "Biomechanics of the throwing events in athletics". "Techniques in Athletics". The First International Conference, Kei-note Symposia. Volumen : 100-117.
- GROSSER, M y NEUMAIER, A. (1986) "Técnicas de entrenamiento; teoría y práctica de los deportes". Deportes, Técnicas. Ediciones Martínez Roca, Barcelona, España.
- HARTMAN, J. y TÜNEMANN, H. (1996) "Entrenamiento moderno de la fuerza" Editorial Paidotribo, Barcelona.

- HAY, J. G. (1973) "The Biomechanics of Sports Techniques". Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- HAY, J. G. y GAVIN REID, J. (1982) "Describing linear motion (Linear kinematics)". En *Anatomy, Mechanics, and Human Motion*. Prentice-Hall, Estados Unido: 120-132.
- JUDGE, L. W. (1994) "Using biomechanical analysis as a coaching tool". *Modern athlete and coach*. 32(2): 15-20.
- KNUDSON, L. E. (1990) "A biomechanical analysis of power vs. Speed techniques in shot put putting". *Techniques in Athletics*. The First International Conference , Keinote Symposia: 588-608.
- KOLTAI, J. (1974) "Étude sur les expériences réalisées dans le passé concernant la technique du lancement du poids". *Amicale-des-entraîneurs-françaisd'athletisme*. 42(1): 53-55; 57-60.
- LARSEN, B. (1992) "Variations in Shot Put Methods and their Application". *Track and Field Quaterly Review*. 92(3): 9-11.
- MARTÍNEZ, M. y ESPARZA, E. (1985) "Propiedades biomecánicas del músculo y su aplicación al lanzamiento de peso". *APUNTS, medicina de l'esport*. Vol. XXII, 85: 33-39.
- MCCOY, R. W.; GREGOR, R. J.; WHITING, W. C. y RICH, R. G. (1984) "Kinematic Analysis of Elite Shotputters". *Track Technique*. 90: 2868-2971.
- PAPADOPOULOS, C.; GIAVROGLOU, A.; GIANAKELLIS, K.; TSAROUCHAS, L. y LLOBREGAT, R. (1994) "Análisis biomecánico y comparación de la técnica circular y lineal en el lanzamiento de peso". 1º Volum de les actes. 2º Congres de les ciencies de l'esport, l'educacio fisica i la recreacio. INEFC- Lleida: 435-443.
- TURK, M. (1997) "Building a Technical Model for the Shot Put". *Track Coach*. 141: 4489-4499.
- WOLTING, H. J. (1986) "A Fortran package for generalized, cross-validatory spline smoothing and differentiation". *Adv. Eng. Software*. 8, 2: 104-113.
- ZATSIORSKY, V. M.; LANKA, G. E. y SHALMANOV, A. A. (1981) "Biomechanical analysis of shot putting technique". *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 353-389.
- ZATSIORSKY, V. M. (1990). "The biomechanics of shot putting technique". *Techniques in Athletics*. The First International Conference, Keinote Symposia. Volumen 1: 118-125.

**METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS
BIOMECÁNICO DE LOS RELEVOS
DE 4 x 100 M DE ATLETISMO.
IMPLICACIONES EN LA ESTRATEGIA
DE CARRERA**

METHODOLOGY FOR THE BIOMECHANICAL
ANALYSIS OF 4 x 100 M RELAY RACES IN ATHLETICS.
IMPLICATIONS FOR THE STRATEGY OF RACE

*Ferro, A.
Velasco, A.
Rocandio, V.*

Dirección para correspondencia:

Amelia Ferro Sánchez
Responsable de la Unidad de Biomecánica
Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte
C/ Greco, s/n
28040 Madrid
E-mail: amelia.ferro@csd.mec.es



Amelia Ferro Sánchez: Doctora en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciada en Educación Física por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciada con Grado en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Responsable del Laboratorio de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte del Consejo Superior de Deportes (CARICD) desde 1993. Profesora de Biomecánica del Departamento de Fundamentos de la Motricidad y del Entrenamiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Europea de Madrid (1996-1999). Profesora de Biomecánica del Instituto Nacional de Educación Física de Madrid (1989-1992). Ha dirigido y participado en proyectos de investigación y de apoyo a deportistas de las especialidades de lanzamiento de disco, carreras de velocidad y relevos, carreras de atletas ciegos paralímpicos, saltos de longitud, natación, gimnasia rítmica, badminton... En el Campeonato del Mundo Sevilla'99 ha dirigido los proyectos de análisis biomecánico de las carreras de velocidad y los saltos de longitud, habiendo recibido financiación de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y de la Asociación del Deporte Olímpico (ADO). Colabora desde 1989 con diversas Escuelas de Entrenadores Deportivos de Federaciones Nacionales impartiendo la asignatura de Biomecánica.



Antonia Velasco Pineda: Licenciada en Educación Física por el INEF de Madrid. Profesora de natación del Ayuntamiento de Leganes. Ha realizado cursos de formación de posgrado en la Unidad de Biomecánica del C.A.R.I.C.D. desde Enero de 1998 hasta septiembre de 1999. Ha participado en proyectos de análisis biomecánico de natación, carreras de velocidad y relevos, salto de longitud, gimnasia rítmica. Ha colaborado en el análisis biomecánico de carreras de velocidad en el campeonato del mundo de atletismo de 1999.



Valentín Rocandio: Licenciado en Educación Física. Entrenador Nacional de Atletismo. Entrenador del equipo español masculino de relevos Absoluto en 1992. Responsable del sector de velocidad en la Real Federación Española de Atletismo desde 1993 hasta la actualidad. Profesor de Atletismo del Instituto Vasco de Educación Física de Vitoria. Historial atlético: Diez veces internacional Absoluto; Olímpico en Seul'88; Corecordman de España del relevo 4 x 100 en 1988.

Resumen: Desde la temporada 1997/98 la Unidad de Biomecánica del CARICD está proporcionando apoyo biomecánico a deportistas de la Real Federación Española de Atletismo. Una parte del trabajo estuvo enfocada al análisis biomecánico de las carreras de relevos. Los objetivos fueron: 1) Desarrollar una metodología para analizar la eficacia del cambio del testigo entre parejas de relevistas de 4 x 100 m. 2) Analizar los cambios del testigo entre los atletas de la Selección de Relevos de la R. Federación Española de atletismo de 1997/98, para que el técnico pudiera decidir la estrategia más adecuada para el logro de resultados. 3) Elaborar un *modelo de informe* de presentación de resultados que facilite la interpretación al técnico. La muestra estuvo formada por ocho hombres, atletas de alto nivel seleccionados por la Real Federación Española de Atletismo. Para la filmación se utili-

zó una cámara de vídeo SVHS (50 Hz) y para el análisis se contó con un generador de código de tiempos, dos magnetoscopios SVHS, un monitor de color y un ordenador con un programa de captura de vídeo. Se han cuantificado, para cada pareja de relevistas, las variables cinemáticas de la transmisión del testigo en las zonas delimitadas al efecto y se han presentado tablas y gráficas que reflejan con claridad los resultados biomecánicos obtenidos. Se han diseñado *modelos de informe de resultados* optimizando el formato de presentación a requerimiento del Responsable de Velocidad. Se ha puesto a punto una metodología para el análisis cinemático de la transmisión del testigo en la prueba de relevos de 4x100 m. A partir de este estudio se ha propuesto continuar el apoyo científico durante dos o tres épocas del año filmando, entre otras, las competiciones más importantes para constatar si la estrategia ha sido la adecuada.

Palabras Clave: Biomecánica, cinemática, carreras de relevos, estrategia, fotogrametría 2D.

Abstract: Since the 1997/98 season the Biomechanics Unit of the CARICD has been providing biomechanical support to athletes from the Royal Spanish Athletics Federation. Part of the work was centred on the biomechanical analysis of relay races. The objectives were: 1) To develop a methodology for analysing the efficiency of baton delivery between relay racers in the 4 x 100 m race. 2) To analyse baton delivery between athletes of the Royal Spanish Federation's Relay Team in 1997/98, so that the trainer could decide which strategy would be the most appropriate for achieving the desired results. 3) To design a *model report form* for the presentation of results which would facilitate their interpretation by the trainer. The sample was made up of eight top class male athletes who were selected by the Royal Spanish Athletics Federation. Filming was done with a SVHS (50 Hz) video camera and the analysis was carried out with the aid of a time code generator, two SVHS recorders, a colour monitor and a computer with a video capture programme. Data have been quantified for each pair of relay racers on the kinematic variables of baton delivery in the marked delivery zone, and tables and graphics have been presented to clearly reflect the biomechanical results obtained. *Result report form models* have been designed to optimize the presentation at the request of the person responsible for Sprinting Events. A methodology has been fine tuned for the kinematic analysis of baton delivery in the 4 x 100 m relay race. Starting with this study, a proposal has been made to continue scientific support for two or three periods per year including the filming, among others, of the most important competitions to see if the strategy used is the most appropriate.

Key Words: Biomechanics, kinematics, relay, strategy, 2D photogrametry.

INTRODUCCIÓN

La Real Federación Española de Atletismo (RFEA) está recibiendo el apoyo de la Unidad de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte desde la temporada 1997/98. Durante este período se ha hecho especial hincapié en el estudio de la técnica y el rendimiento de los velocistas en las carreras de 100, 200 y 400 metros lisos y relevos 4 x 100 y 4 x 400 m, en sus categorías masculina y femenina.

Con esta actividad, se inició una línea de investigación enfocada al análisis cinemático de las carreras de velocidad en la que el Responsable de la Federación tuvo una activa participación, sugiriendo ideas y utilizando los resultados de los estudios de Biomecánica como una *herramienta* más de apoyo en la planificación de los entrenamientos. Estos trabajos han sido financiados por el Consejo Superior de Deportes y la Asociación del Deporte Olímpico (ADO) y han contado con el apoyo de la R. Federación Española de Atletismo.

En primer lugar, se propuso analizar la técnica de la carrera de los mejores velocistas españoles participantes en las pruebas de 60, 200 y 400 m lisos, de competiciones celebradas en pista cubierta, mediante una metodología basada en técnicas de fotogrametría cine bidimensional de alta velocidad.

En segundo lugar, se estudiaron aspectos cinemáticos de las pruebas de relevos de 4 x 100 metros en dos tramos complicados de carrera, en la segunda y tercera curva del cambio del testigo, mediante técnicas de fotogrametría vídeo bidimensional.

En tercer lugar, se está elaborando un método para evaluación del rendimiento en las pruebas de velocidad de 100, 200 y 400 metros lisos utilizando técnicas de fotogrametría vídeo bidimensional.

Para el desarrollo de las diferentes líneas de trabajo se tuvieron que poner a punto tres procedimientos para aportar soluciones a las diferentes cuestiones planteadas por el entrenador. Por un lado, las de filmación de las carreras en diferentes competiciones (pista cubierta y aire libre) y las de relevos en condiciones controladas. Así mismo, se tuvieron que desarrollar protocolos específicos para cada prueba, dado que aunque, se cuenta con una amplia experiencia en el estudio de la técnica de la carrera (Ferro, A., 1996, 1999; Ferro y cols., 1996, 1998) tanto las condiciones como los objetivos de los estudios anteriores fueron muy distintos. Además, se procedió a la filmación de distintas competiciones y pruebas en concentraciones celebradas durante las fechas en las que se desarrolló el estudio. Los resultados obtenidos se entregaron al Responsable de la Federación para su uso y difusión.

Estos procedimientos serán mejorados en un futuro en la medida en que, por un lado, se disponga de mejores recursos de filmación y análisis de las imágenes y por otro, cuando las condiciones que rodean a la filmación (apoyos, personal, ubicación, etc.) sean más adecuadas.

En este artículo se presenta el estudio realizado para el análisis biomecánico del cambio del testigo en la carrera de relevos de 4 x 100 metros lisos. Las fuentes bibliográficas disponibles fueron los trabajos publicados años atrás por Hay (1981) y Vonstein (1990) y otros más recientes que proporcionaron resultados de competiciones (Sugira y cols., 1995 y Wiermeyer y cols., 1993). A partir de los trabajos de Rocandio (1998) y de su experiencia en el entrenamiento del equipo relevista nacional, se plantearon los objetivos de este estudio que

tienden a cubrir aspectos novedosos de cara al análisis biomecánico de la transmisión del testigo y del uso de los datos en el diseño de una estrategia para la competición.

Con este artículo se pretende mostrar a los técnicos, investigadores y profesionales del deporte, que las aplicaciones de la biomecánica al rendimiento deportivo son ilimitadas. La biomecánica, además de ayudar al análisis de la técnica de un deportista o grupo de deportistas, puede contribuir a mejorar el rendimiento de una prueba analizando la táctica individual y de conjunto, ayudando al técnico en la búsqueda de la mejor estrategia para abordar la competición con garantías de un mejor resultado.

OBJETIVOS

El objetivo general fue proporcionar apoyo biomecánico a los deportistas de alto nivel de las pruebas de velocidad y relevos. Los estudios biomecánicos se planificaron atendiendo a las concentraciones y competiciones programadas por la RFEA para el año 1998. En este artículo se expondrá la metodología seguida para el análisis de las pruebas de relevos de 4 x 100 metros lisos.

Los objetivos planteados en el estudio fueron:

1. Desarrollar una metodología para analizar la eficacia del cambio del testigo entre parejas de relevistas de las pruebas de 4x100 metros lisos.
2. Analizar los cambios del testigo entre los atletas de la Selección de Relevos de la R. Federación Española de Atletismo de 1997/98 y proporcionar un apoyo al técnico deportivo que le permita decidir qué parejas de relevistas realizan el cambio de forma más eficaz y ordenarlos en las competiciones adecuadamente. En definitiva, decidir la **estrategia** más adecuada que permita asegurar los mejores resultados en competición.
3. Elaborar un *Modelo de Informe* de presentación de resultados claro y conciso, que facilite la tarea de interpretación al técnico y que pueda utilizar para valorar los datos proporcionados a lo largo de la temporada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestra

Ocho hombres, atletas de alto nivel de la Selección de la R. Federación Española de Atletismo. Todos los atletas participaron como portadores y receptores del testigo.

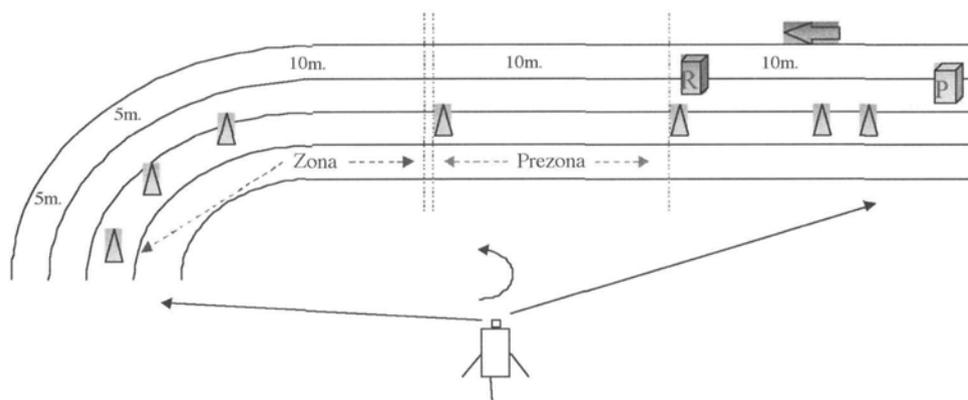
Material

- 1 Cámara de vídeo *Panasonic SVHS NV MS4E* a 50 Hz.
- 1 Sistema de análisis:
 - 2 magnetoscopios SVHS *Panasonic AG-7350*.

- 1 generador de código de tiempos *Avitel TPR 1040*
- 1 monitor color y pantalla de proyección de 21" *Panasonic*.
- 1 ordenador *Pentium II* a 330 Mhz.
- 1 impresora *HP 720c*
- 1 software de captura de imágenes y rutina U. Biomecánica.

Pruebas realizadas

Se filmaron las prueba de relevos de una concentración planificada por la R.F.E.A. en el CAR de Madrid. Los cambios tuvieron lugar en la segunda curva, donde se produjo el paso de los 200 m a los 300 metros de carrera, y en la curva tercera, entre el cambio de 300 y 400 metros.

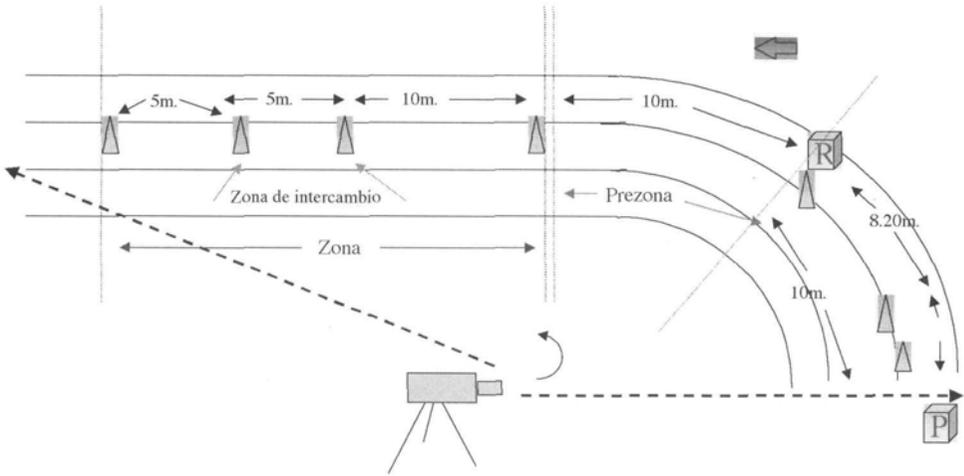


Cambio 200-300 m

Figura 1. Esquema de la zona de aceleración, prezona y zona, en la curva de cambio del testigo entre los 200 y 300 metros.

En las figuras 1 y 2 (ver pág. siguiente) se observa la ubicación de las referencias en el terreno y las distancias entre ellas. Con la letra P se señala la posición del portador del testigo y con la letra R la del receptor. La pista marcada se dividió en tres partes: La primera, de 10 metros de distancia, es la de aceleración del portador; en ella el sujeto adquiere la velocidad necesaria para hacer el cambio. Aunque las mediciones se hacen en esa distancia, el portador inicia su carrera unos veinte metros antes. La segunda distancia es la "prezona", en la que el atleta receptor puede comenzar su carrera pero sin recibir el testigo. La tercera es la "zona", distancia en la que se produce el cambio; si dicho cambio se produjera con posterioridad, el equipo relevista quedaría eliminado.

La cámara se situó en un punto equidistante entre todas las zonas a estudiar, de forma que ésta pudiese rotar con libertad filmando un plano suficientemente corto como para identificar claramente a los corredores y las referencias a lo largo de diez metros antes de la prezona, de la prezona y de la zona. A los sujetos se les marcó el punto articular "cadera derecha" mediante unos círculos adhesivos de 2 cm de diámetro, de distinto color que la ropa, para identificarlo claramente en la filmación.



Cambio 300-400 m

Figura 2. Esquema de la zona de aceleración, prezona y zona, en la curva de cambio del testigo entre los 300 y 400 m.

Se realizaron veintiséis transmisiones del testigo a velocidad submáxima (90-95% de su máximo rendimiento), seis en la curva segunda y veinte en la curva tercera. De ellas, cuatro resultaron fallidas. A cada pareja de relevistas se les permitió un tiempo de recuperación de, al menos, quince minutos.

Análisis de los datos

Las películas se llevaron al Laboratorio de Biomecánica para su análisis mediante la cadena de medida representada en la figura 3. Las imágenes se proyectaron en el magne-

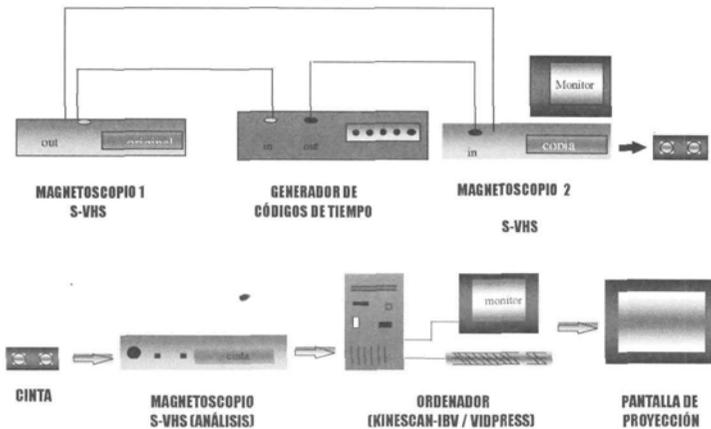
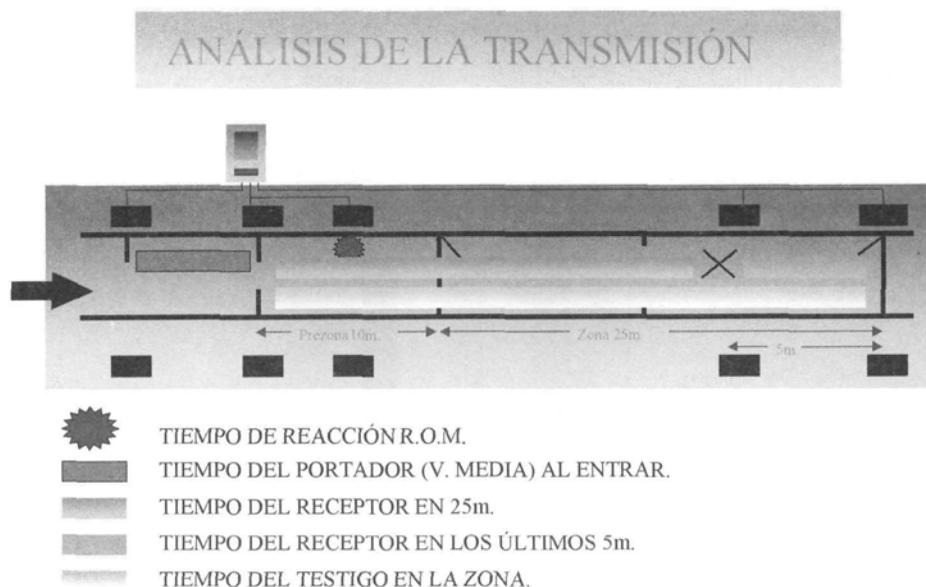


Figura 3. Cadena de medida para el análisis de las imágenes y tratamiento de los datos del Laboratorio de Biomecánica.

toscopio 1, donde se identificaron las secuencias de las distintas parejas; en el magnetoscopio 2 se insertó otra cinta para hacer una copia en la que se introdujo un código de tiempos. Las imágenes, proyectadas en el magnetoscopio 2, fueron capturadas en el ordenador y visualizadas en el monitor y pantalla de proyección donde se analizaron tiempos de paso por diferentes referencias. En el Laboratorio de Biomecánica se diseñó una rutina para el cálculo de variables cinemáticas con el programa Excel.

Para el análisis de la transmisión se calcularon las variables cinemáticas representadas en el esquema de la figura 4 (Rocandio, V.) y otras derivadas de las anteriores. Además, se realizaron representaciones gráficas para facilitar la interpretación de resultados.



V. Rocandio

Figura 4. Variables cinemáticas de eficacia en el cambio del testigo.

Variables cinemáticas

- Tiempo del portador al entrar en la zona de aceleración, anterior a la *prezona* y *velocidad media*.
- Tiempo de reacción del receptor desde que ve pasar al portador por el inicio de la zona de aceleración hasta que se observa movimiento del receptor.
- Tiempo del testigo en la *prezona*; el que transcurre en el paso del testigo por los 10 metros de la "prezona"
- Tiempo del testigo en la *zona*; el transcurrido en los 20 metros siguientes de la denominada "zona".
- Tiempo de aceleración del receptor en 25 metros; el invertido por el receptor en recorrer dicha distancia desde que inicia su carrera.

- *Tiempo de seguridad en los últimos 5 metros (índice de seguridad)*; el empleado por el receptor en recorrer los últimos metros de la "zona". Si en esos metros no se ha producido el cambio, quedan eliminados los relevistas.
- *Tiempo de transmisión del testigo* desde que comienza la entrega hasta que finaliza.
- *Tiempo de reinicio del ciclo*, el transcurrido desde que el receptor, con la mano atrás preparado para recibir, vuelve a bracear con normalidad, una vez recogido el testigo.

La precisión estimada para estos cálculos fue de 2 centésimas de segundo.

Con estos datos se diseñó un *modelo de informe* de resultados para el posterior análisis por parte de los técnicos deportivos. El informe contenía tablas numéricas y gráficas en tres formatos distintos:

1. *Gráfica de variables temporales de cada pareja* (figura 5). En ellas se representó comparativamente los tiempos de cada fase para cada pareja de relevistas.

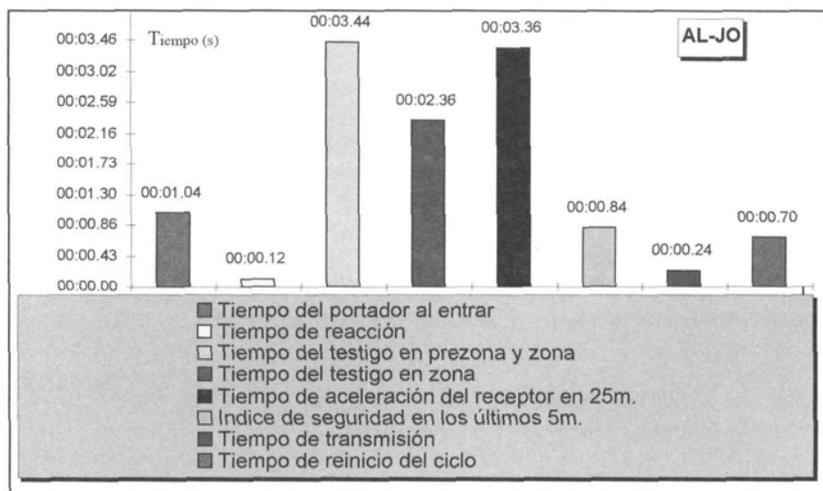


Figura 5. Variables cinemáticas medidas en el cambio del testigo entre una pareja (código AL-JO).

2. *Gráficas comparativa del grupo de relevistas*, agrupados por parejas, para cada variable analizada. Se representaron tantas gráficas como variables. Se agruparon los datos de las dos zonas de cambio (segunda y tercera curva) porque podría darse la circunstancia de que una pareja realizase correctamente el cambio sólo en una zona. La comparativa de ambas zonas ayudará al entrenador a decidir dónde situar a dicha pareja. En la figura 6 se representa un ejemplo de una variable estudiada.
3. *Gráficas comparativas de cada pareja en las diferentes series* en que actuaron juntas (figura 7). En este caso se seleccionaron, para su presentación, las variables cinemáticas más relevantes. Estas gráficas son muy ilustrativas dado que permiten observar la *consistencia temporal* de cada pareja y constatar si los resultados los repiten sistemática u ocasionalmente.

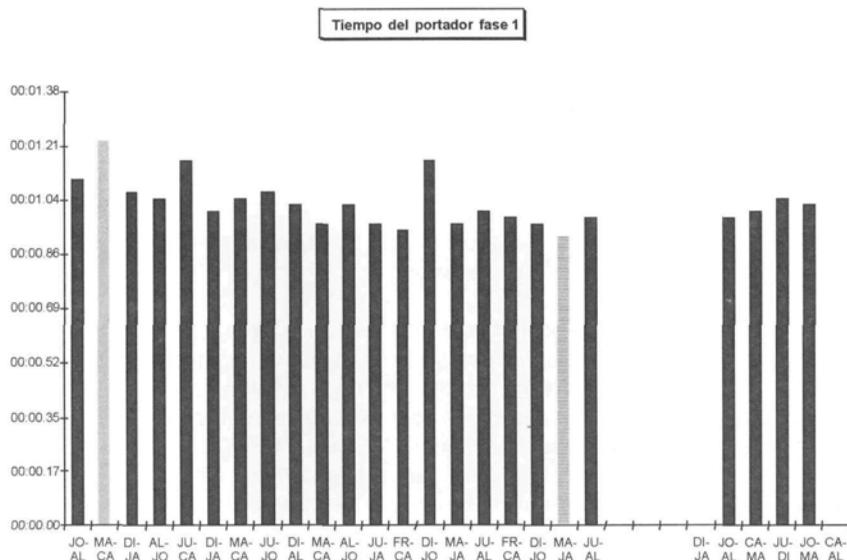


Figura 6. Gráfica comparativa de los tiempos de cada pareja portador-receptor en una de las fases de la prueba. La columna con trama horizontal representa el mejor tiempo y el de trama oblicua, el peor. En el eje de abscisas se representan los códigos de cada pareja de relevistas.

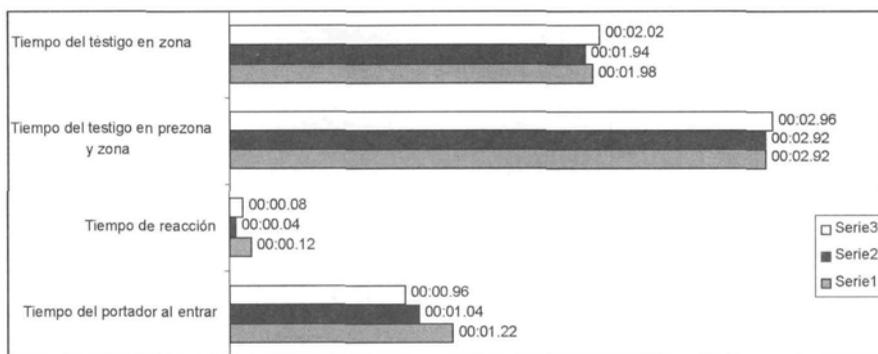


Figura 7. Gráfica comparativa de los resultados de una misma pareja de relevistas en varias series.

Con estos resultados el entrenador podrá decidir qué parejas de relevistas trabajan con más eficacia y con más seguridad en el cambio del testigo; en qué fases se producen los fallos o desajustes; si éstos suceden siempre o sólo con determinadas parejas; si un sujeto actúa mejor como portador o como receptor, etc. Del análisis comparativo de las parejas en las dos curvas se puede decidir dónde situar a cada uno y qué alternativas tiene en caso de lesiones. Todos estos aspectos conllevan implicaciones importantes de cara al diseño de la estrategia a plantear en las competiciones.

Uno de los problemas planteados durante el desarrollo de este estudio fue que el número de series a realizar por los atletas tuvo que ser limitado puesto que éstas se ejecutaron a un porcentaje del 90 - 95 % de su rendimiento máximo, provocando en los atletas un agotamiento rápido. Además, un entrenamiento tan intenso no puede ser realizado en días consecutivos, por lo que en una concentración de dos o tres días sólo puede llevarse a cabo una prueba de este tipo. Por ello, resultó necesario acotar el estudio puesto que contrabalancear a las parejas al azar o probar todas las posibilidades (todos con todos) no iba a resultar efectivo; en consecuencia, el entrenador seleccionó con un criterio basado en su experiencia diaria, a las parejas que consideró que trabajan más eficazmente, haciéndolas participar en un mayor número de repeticiones.

Este tipo de pruebas sólo es posible realizarlas en condiciones controladas, dado que en competición, que es donde los atletas muestran su máximo rendimiento, ejecutan una sólo serie, de la que no se podrían extraer conclusiones que revelen aspectos tácticos. En consecuencia, de cara a un futuro, se propone realizar pruebas similares a la desarrollada en este estudio, en varias épocas del año y filmar las competiciones de invierno en pista cubierta y de verano, al aire libre, para comprobar si la estrategia diseñada por el entrenador ha proporcionado mejores resultados al grupo de relevistas en la competición.

CONCLUSIONES

1. Se ha puesto a punto una metodología para el análisis cinemático de la transmisión del testigo en la prueba de relevos de 4 x 100 metros.
2. Durante una concentración de la R.F.E. de Atletismo se ha proporcionado apoyo biomecánico al técnico deportivo aportando unos resultados biomecánicos novedosos en nuestro país.
3. Se ha diseñado un *modelo de informe* de resultados que refleja las variables de interés para el entrenador. Los informes recogen resultados individuales y de grupo, permitiendo conocer el estado de cada deportista para seleccionar la estrategia más adecuada en la competición.
4. Todavía quedan aspectos relativos al proceso de filmación y análisis que pueden ser depurados, así como la puesta a punto del registro de datos en competición. Aunque ya se han hecho varias pruebas los resultados no han sido totalmente satisfactorios.
5. Se propone continuar el apoyo durante dos o tres épocas del año, en las que podrían realizarse pruebas en condiciones controladas que tiendan a la mejora de la técnica y la táctica y filmaciones de las competiciones más importantes celebradas durante la temporada para constatar si la estrategia ha sido la adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- FERRO, A. (1996). "Análisis biomecánico de la técnica de la carrera de los atletas ciegos paralímpicos". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

- FERRO, A.; GRAUPERA, J. L. BLANCO, M. I.; BARCELÓ, O. y ANTÓN, E. (1996). "Análisis cinemático de la carrera en velocistas ciegos. *Serie Investigaciones en Ciencias del Deporte*, **12**, 9-47.
- FERRO, A.; GRAUPERA, J. L. BLANCO, M. I.; ANTÓN, E. y VERA, P. (1998). "Análisis del patrón articular de los miembros superior e inferior desarrollado por atletas ciegos en las carreras de velocidad. *Integración*, **26**, 5-19.
- FERRO, A. (1999) "Análisis biomecánico de la técnica de la carrera en deportistas ciegos paralímpicos". *Hacia una nueva concepción de la discapacidad. Actas de las III Jornadas Científicas de Investigación sobre personas con discapacidad*. Salamanca, Editorial Amarú. Colección Psicología, 1999, 217- 234.
- HAY, J. (1981) "Sprints relays". *Track and Field Quarterlu Review*, **81**, 2, 38-45.
- ROCANDIO, V. (1998). "El entrenamiento del equipo español de 4x100 metros para Atenas". *Cuadernos de Atletismo*, **40**, 101-126.
- SUGIRA, Y.; NUMAZAWA, H. y AE, M. (1995). "Time analysis of elite sprinters in the 4 by 100 metres relay". *New Studies in Athletics*, **10**, 3, 45-49.
- VONSTEIN, W. (1990). "Technique as a performance factor in the 4x100 m relay". *Modern Athlete and Coach*, **3**, 10-14.
- WIEMEYER, J. y OBERSTE, W. (1993). "Kinematic analysis of three 4x100 baton passing techniques". *Track Technique*, **125**, 3395-4000.

ANÁLISIS DE LA TRANSMISIÓN DEL TESTIGO EN LA PRUEBA DE RELEVOS DE 4 x 100 METROS

ANALYSIS OF BATON DELIVERY
IN THE 4 x 100 RELAY

*Rocandio, V.
Ferro, A.
Velasco, A.*

Dirección para correspondencia:

Valentín Rocandio
Instituto Vasco de Educación Física
C.U.A. Carr, Lasarte, s/n
01007 Vitoria (Álava)
E-mail: valroc@clientes.euskaltel



Valentín Rocandio: Licenciado en Educación Física. Entrenador Nacional de Atletismo. Entrenador del equipo español masculino de relevos Absoluto en 1992. Responsable del sector de velocidad en la Real Federación Española de Atletismo desde 1993 hasta la actualidad. Profesor de Atletismo del Instituto Vasco de Educación Física de Vitoria. Historial atlético: Diez veces internacional Absoluto; Olímpico en Seul'88; Corecordman de España del relevo 4 x 100 en 1988.



Amelia Ferro Sánchez: Doctora en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciada en Educación Física por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciada con Grado en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Responsable del Laboratorio de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte del Consejo Superior de Deportes (CARICD) desde 1993. Profesora de Biomecánica del Departamento de Fundamentos de la Motricidad y del Entrenamiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Europea de Madrid (1996-1999). Profesora de Biomecánica del Instituto Nacional de Educación Física de Madrid (1989-1992). Ha dirigido y participado en proyectos de investigación y de apoyo a deportistas de las especialidades de lanzamiento de disco, carreras de velocidad y relevos, carreras de atletas ciegos paralímpicos, saltos de longitud, natación, gimnasia rítmica, badminton... En el Campeonato del Mundo Sevilla'99 ha dirigido los proyectos de análisis biomecánico de las carreras de velocidad y los saltos de longitud, habiendo recibido financiación de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y de la Asociación del Deporte Olímpico (ADO). Colabora desde 1989 con diversas Escuelas de Entrenadores Deportivos de Federaciones Nacionales impartiendo la asignatura de Biomecánica.



Antonia Velasco Pineda: Licenciada en Educación Física por el INEF de Madrid. Profesora de natación del Ayuntamiento de Leganes. Ha realizado cursos de formación de posgrado en la Unidad de Biomecánica del C.A.R.I.C.D. desde Enero de 1998 hasta septiembre de 1999. Ha participado en proyectos de análisis biomecánico de natación, carreras de velocidad y relevos, salto de longitud, gimnasia rítmica. Ha colaborado en el análisis biomecánico de carreras de velocidad en el campeonato del mundo de atletismo de 1999.

Resumen: El presente estudio del cambio de testigo a alta velocidad, pretende analizar el comportamiento cinemático de los corredores de cara a optimizar su rendimiento en competición. Los objetivos son: Determinar las fases temporales de la transmisión del testigo; evaluar el comportamiento cinemático del testigo durante las transmisiones; evaluar la estabilidad de los tiempos de reacción de los corredores. En el estudio se calcularon los siguientes datos: Velocidad de entrada del portador; tiempo de reacción del receptor; aceleración del receptor; duración de la transmisión; velocidad del testigo tras el cambio; velocidad media del testigo en la zona de cambio. Los atletas estudiados presentan tiempos de reacción poco estables, que dificultan la determinación del handicap o referencia a utilizar en los cambios. Las buenas velocidades medias del testigo en la zona se obtienen

en las transmisiones realizadas en la segunda mitad de zona. La velocidad a la que el atleta abandona la zona se relaciona estrechamente con la eficacia y seguridad del cambio. Estudios de este tipo además de aportar un feed-back necesario y preciso a los atletas y al entrenador durante el entrenamiento, pueden contribuir a la optimización de los cambios en competición, aportando una información precisa que contribuya a determinar el orden de los corredores y su estrategia.

Palabras Clave: Biomecánica, carreras de relevos, cinemática, atletismo, carrera.

Abstract: The present study of high speed baton delivery, was aimed at analysing the kinematic behaviour of the runners with a view to optimising their performance in competition. The objectives were: to determine the time phases of baton delivery; to evaluate the kinematic behaviour of the baton during delivery, and to evaluate the stability of the reaction times of the runners. The following data were calculated in the study: the speed of entry of the runner carrying the baton; the reaction time of the runner receiving it; the acceleration of the receiver; the duration of the delivery; the speed of the baton after delivery; the average speed of the baton in the delivery zone. The athletes studied showed very unstable reaction times, which made it difficult to determine the handicap or the reference to use in the delivery. Good baton speeds in the zone are obtained in the deliveries which take place in the second half of the zone. The speed at which the athlete leaves the zone is closely related to efficiency and safety in the delivery. Studies of this type as well as providing the necessary and precise feed-back for the athletes and trainer during training, can contribute to optimising the delivery in competition, providing precise information which can contribute to the determination of the order of the runners and their strategy.

Key Words: Biomechanics, relays, kinematics.

INTRODUCCIÓN

La prueba de relevos de 4 x 100 metros, tiene por objetivo llevar un testigo a la mayor velocidad posible durante 400 metros por medio de cuatro corredores que recorren cada uno aproximadamente 100 metros con el testigo en la mano.

La transmisión del testigo entre los corredores se realiza en un espacio de 20 metros denominado "zona" precedido de un espacio de aceleración de 10 metros conocido como "prezona", en la que el atleta receptor aún no puede recibir el testigo.

Las limitaciones reglamentarias dificultan substancialmente una transmisión del testigo sin ralentización del mismo; a la vez que obligan a tomas de riesgo muy elevadas en los tres cambios que se realizan en la prueba.

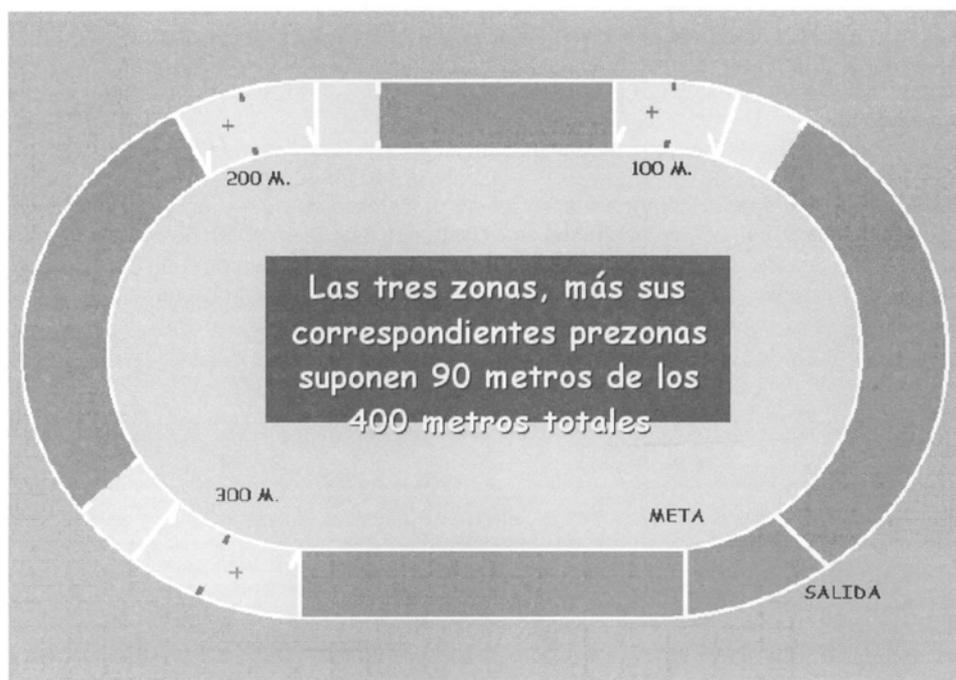


Gráfico 1. Las zonas de cambio del relevo 4 x 100 m.

Para lograr el mayor rendimiento posible en el cambio, el atleta receptor comenzará a correr unos metros antes de que el portador le alcance, de forma que en el momento que el portador pueda entregarle el testigo se encuentre sobre la zona de cambio y con la mayor velocidad posible. Esta distancia de ventaja que denominamos referencia o handicap, se marca en la pista mediante una cinta adhesiva y deberá ser determinada con gran precisión durante los entrenamientos previos a la competición.

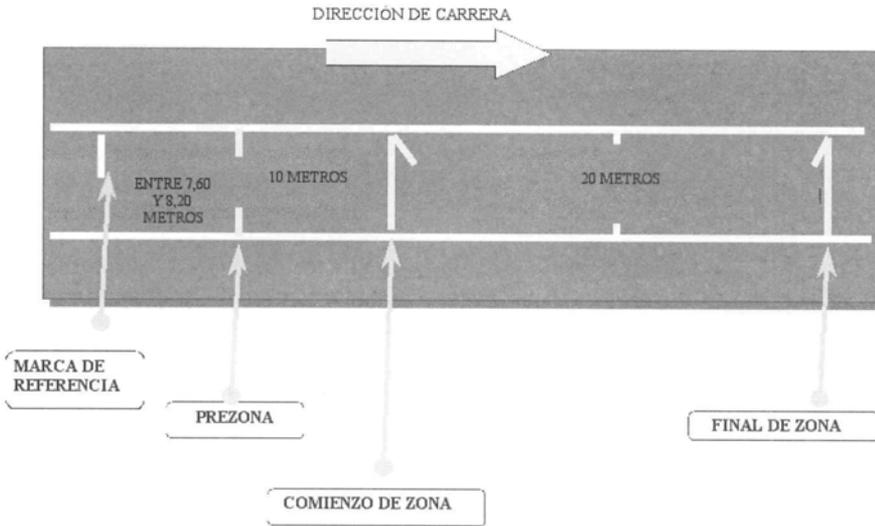
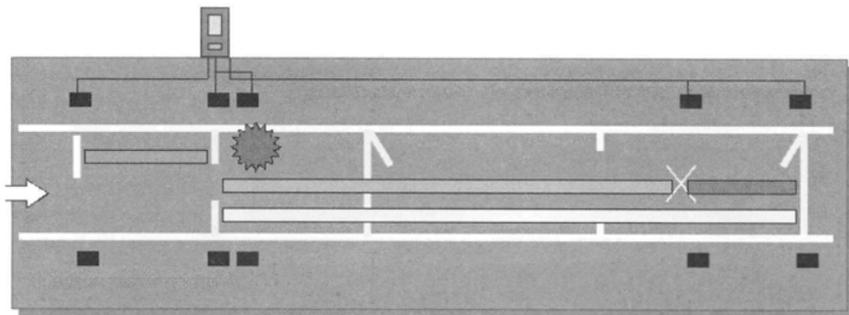


Gráfico 2. Una zona de transmisión de 4 x 100 m con su referencia.

El atleta receptor deberá comenzar a correr en el instante en que el portador del testigo pase sobre esta señal, acelerando al máximo hasta que éste le dé orden de colocar la mano para recibir el testigo. La estabilidad en los tiempos de reacción así como de las sucesivas fases temporales de portador y receptor, es la base para lograr transmisiones seguras y de alta calidad



- ☀ TIEMPO DE REACCIÓN R.O.M.
- TIEMPO DEL PORTADOR (V. MEDIA) AL ENTRAR
- TIEMPO DEL RECEPTOR EN 25 M.
- TIEMPO DEL RECEPTOR EN LOS ÚLTIMOS 5 M
- TIEMPO DEL TESTIGO EN 30 M

Gráfico 3. Las diferentes fases temporales analizadas.

Teniendo en cuenta que en la prueba de relevos lo que se cronometra es lo que tarda el testigo en recorrer los 400 metros desde la salida hasta la meta, los objetivos de una correcta transmisión son que el receptor abandone la zona a la mayor velocidad posible y con el testigo en la mano, habiendo el testigo atravesado la zona, también a la mayor velocidad posible.

El análisis cinemático del cambio, pretende aportar un feed-back necesario y preciso a los atletas y al entrenador con la intención de optimizar la técnica.

OBJETIVOS

- Determinar las fases temporales de la transmisión de testigo.
- Evaluar el comportamiento cinemático del testigo durante las transmisiones.
- Evaluar la estabilidad de los tiempos de reacción de los corredores.
- Determinar la influencia de las diferentes fases en la velocidad del testigo.

MATERIAL Y MÉTODO

La toma de datos se realizó durante un entrenamiento de relevos llevado a cabo por 8 atletas, integrantes todos ellos del Equipo Nacional Absoluto de relevos 4 x 100 m durante la temporada 98.

Para el análisis de datos se utilizó el siguiente material:

- Cámara de vídeo: Panasonic S-VHS NV -MS4E.
- Generador de código de tiempos: Avitel TPR 1040.
- Dos magnetoscopio S- VHS: Panasonic S- VHS AG- 7350.
- Ordenador Pentium II, 330 Mhz.. Con programa de captura de vídeo (Videopress) y Hoja de Cálculo Excel 97.
- Impresora color.

Durante dicho entrenamiento se registraron 26 transmisiones de testigo, 20 de las cuales fueron realizadas en una zona de cambio "en curva" (3ª zona) y los 6 restantes en zona de cambio "en recta" (2ª zona), utilizando en todas ellas la calle 4. El corredor portador realizaba 30 metros de carrera antes de entrar en la prezona, para adquirir velocidad, realizando así un total de 60 metros hasta el final de zona, mientras que el receptor recorría los 30 metros de que consta el espacio de cambio.

Dado que se trataba de una sesión de entrenamiento, la intensidad de carrera, aunque elevada (90-95%), no era máxima.

El handicap utilizado fue común para todas las parejas, siendo de 8.40 m. para el cambio "en curva" y de 8.20 m. para el cambio "en recta". Esta distancia fue establecida basándose en entrenamientos anteriores con el objetivo de reproducir transmisiones a alta velocidad en la segunda mitad de la zona de cambio.

Se evaluaron las siguiente fases temporales del cambio:

- Tiempo del portador en los 10 metros previos a la prezona.
- Tiempo de reacción del receptor.
- Tiempo del receptor en recorrer los primeros 25 metros.
- Punto de transmisión.
- Duración de la transmisión.
- Tiempo del receptor en los 5 últimos metros de zona.
- Tiempo invertido por el testigo en cruzar la zona de cambio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 26 cambios realizados, cuatro no fueron válidos, ya que la transmisión del testigo no llegó a realizarse o se realizó fuera de los límites reglamentarios; tres se produjeron en la primera mitad de zona y los 19 restantes se produjeron en la segunda mitad de zona, considerada la parte idónea para obtener un buen rendimiento en el cambio¹³.

Entre las diferentes variables analizadas, y sus correlaciones, podemos extraer las siguientes conclusiones como las más interesantes del estudio:

Los atletas estudiados presentan tiempos de reacción poco estables, que dificultan la determinación del handicap o referencia a utilizar en los cambios¹⁸.

La poca estabilidad de esta variable en las repeticiones que realiza un mismo individuo, parece definirse como el mayor problema para lograr reproducir cambios entre los metros 10 y 15 de la zona de cambio, considerado tradicionalmente como zona ideal^{1,4,6,11} hecho que se confirma al existir una correlación negativa entre el punto de transmisión en la zona y el tiempo del testigo en recorrer la misma ($\text{corr} = -0,433$) que es en todo caso más baja de lo que podía suponerse.

La rapidez buscada en las entregas para que el receptor no detenga su movimiento de brazos, no presenta una relación significativa con la velocidad en los últimos 5 metros de zona, tal y como afirman la mayoría de los entrenadores^{1,5,6,7,10,11,16,17}, debido probablemente a que los atletas tienden a pararse tras recibir el testigo, conscientes de que se trata de un entrenamiento, a pesar de las indicaciones expresas de que aceleren hasta el final de zona. ($\text{corr} = -0,131$). Por el contrario, se observa como, cuanto más adelante en la "zona" se produzca el cambio, más tiempo tiene que estar el receptor con su mano retrasada sin bracear (correlación = 0,552) ya que cuanto más forzado llegue el portador al cambio, más le costará realizar la entrega.

La baja correlación entre la velocidad del portador y el tiempo de reacción del receptor ($\text{corr} = 0,219$) parecen probar inexistencia de un mecanismo interno que permita al corredor receptor percibir con la precisión suficiente, desde su perspectiva, la velocidad a la que viene su compañero y de este modo anticipar o retrasar su puesta en marcha al paso por la señal establecida.

Sin embargo, tras la puesta en marcha del receptor, el que sí parece apreciar si va a poder alcanzar o no a su compañero, es el corredor portador del testigo. La correlación entre el

tiempo de reacción del receptor y la velocidad del portador en la prezona (corr = 0,621), nos conduce a pensar que el corredor portador, dos o tres segundos antes de entregar el testigo, es capaz de percibir si el cambio se va a producir dentro de la zona reglamentaria.

La variable que más parece influir sobre el tiempo que invierte el testigo en recorrer la zona, es la aceleración del receptor en sus primeros 25 m. (corr = 0,814) siendo mayor aún si al tiempo de aceleración le sumamos el tiempo de reacción (corr = 0,852).

Contrariamente a lo que se supone que ocurre en competición, la correlación entre la velocidad del portador y la velocidad del testigo en zona no parece tan significativa. En la muestra estudiada, la correlación es de 0,458 debido probablemente a que, al tratarse de un entrenamiento, el receptor, en algunos de los registros, tiende a pararse tras recibir el testigo.

CONCLUSIONES

Algunos entrenadores de relevos, concretamente los entrenadores del equipo francés,^{4,6} realizan un gran número de ejercicios orientados a desarrollar la percepción, por parte del receptor, de la velocidad a la que viene el portador. Tras este estudio podemos intuir que se trata de una pérdida de tiempo, ya que el receptor a pesar de observar las evoluciones de su compañero no es capaz de percibir con la precisión necesaria el momento en el que debe salir.

Sin embargo, el hecho de que el portador perciba pronto la mayor o menor dificultad para alcanzar a su compañero, le permitirá, en competición, ralentizar o avisar a su compañero (con un grito) de que frene, ya que es improbable que cuando lleve recorridos 100 metros aproximadamente a máxima velocidad, sea capaz aún de acelerar.

El entrenamiento de un equipo de relevos debe orientarse a mecanizar una eficaz técnica de cambio, sin obsesionarse por la rapidez del pase de una mano a otra, y a lograr puestas en acción regulares que permitan reproducir en competición los mejores cambios realizados en entrenamiento.

Estudios de este tipo además de aportar un feed-back necesario y preciso a los atletas y al entrenador durante el entrenamiento, pueden contribuir a la optimización de los cambios en competición, aportando una información precisa que contribuya a determinar el orden de los corredores y su estrategia. Para futuros estudios sería importante ampliar en 10 metros mínimo e incluso en 20 metros la distancia a recorrer por parte del receptor, para evitar que frene tras recibir el testigo y de ese modo se desvirtúen algunos datos.

Los tiempos registrados en algunos de los cambios, demuestran que se trata de atletas con capacidad para bajar holgadamente de los 39 segundos en competición, lo que supondría estar entre los equipos más destacados de Europa en esta especialidad como ya lo han demostrado estos últimos años.

Lógicamente, el análisis en competición será el que más información pueda aportar, pero la dificultad para registrar los tres cambios que se producen en la prueba plantea problemas que requieren un gran despliegue de medios técnicos que por el momento no están a nuestro alcance, aunque podría ser un ingrediente atractivo en las retransmisiones televisivas.

vas si aportasen al tiempo final de cada equipo, información sobre el rendimiento de los cuatro corredores y su eficacia en las transiciones del testigo.

BIBLIOGRAFÍA

1. DICK, F. (1988). "4 x 100 metros: una prueba 'clave'". Cuadernos de Atletismo nº 11: 29-36.
2. FUKASHIRO, S. et al. (1992). "The biomechanical study of the baton passing in 4 x 100 m. relay". Track & Field Magazine 42, 12: 20-206.
3. HAY, J. (1981). "Sprint relays". Track & Field quarterly review 81, 2: 3845.
4. LOURIE, M. (1988). "El relevo 4 x 100 metros. Técnica de base y preparación de los relevistas franceses para los Juegos Olímpicos de Moscú". Cuadernos de Atletismo nº 11: 37-51.
5. MACH, G. (1991). "The 4 x 100 metres relay with the push-forward pass". New studies in athletics, 6, 1: 67-73.
6. MAISETTI, G. (1996). "Hacia la buena transmisión del testigo en las pruebas de relevos de 4 x 100 metros». Atletismo Español nº 482: 32-35.
7. MARTIN, R. y CODINA, A. (1992). "Aspectos técnicos del entrenamiento del relevo 4 x 100 mujeres de España". Atletismo Español, nº 436: 60-45.
8. PÍASENTA, J. (1994). *Apprendre à observer: Plaidoyer pour une formation à l'observation du comportement du sportif*. Paris: INSEP-publications.
9. RAMSEY, J. (1978). "Analysis of baton exchanges in sprint relays". Track technique nº 72: 2300-2302.
10. REGA, C. (1988). "La técnica de pasaje del testimonio". Stadium, nº 131: 16-22.
11. ROCANDIO, V. (1998). "El entrenamiento del Equipo Español de 4 x 100 m. para Atenas". Cuadernos de Atletismo nº 40: 101-126.
12. SAEDELEER, M. (1982). "Incidence du règlement dans le relais 4 x 100 m.: essai d'une methodology d'optimisation cinétique". Amicale des entraîneurs français d'athlétisme, nº 77: 27-29.
13. SCHMOLINSKY, G. (1981). *Atletismo (Leichtathletik)*. Madrid: Pila Teleña Ed.
14. SUGIURA, Y.; NUMAZAWA, H. y AE, M. (1995). "Time analysis of elite sprinters in the 4 by 100 metres relay". New studies in athletics, 10, 3: 45-49.
15. VILKOV, Y. y TURIN, P. (1992). "About sprint relay training" Modern Athlete and Coach, nº 3: 22-24.
16. VONSTEIN, W. (1990). "Technique as a performance factor in the 4 x 100 M. relay" Modern Athlete and Coach, nº 3: 10-14.
17. WIEMEYER, J. y OBERSTE, W. (1993). "Kinematic analysis of three 4 x 100 baton passing techniques ". Track Technique, nº 125: 3395-3398; 4000.
18. ZHUBRYAKOV, G. (1989). "La preparación de los relevos 4 x 100 en el programa de entrenamiento anual". Cuadernos de Atletismo nº 24: 95-104.
19. "Cambios de puntos de vista sobre la velocidad". Actas del tercer congreso mundial de entrenadores. París, 1961.

ANÁLISIS FOTOGRAMÉTRICO DE LA CINEMÁTICA DEL RETROPIE DEL CORREDOR

PHOTOGRAMMETRIC ANALYSIS OF KINEMATICS
OF RUNNERS' REAR FOOT MOTION

*Soto Hermoso, V. M.
Rojas Ruiz, F. J.
Ortega Gómez, F.
Isusi Fagoaga, F.*

Dirección para correspondencia:

Víctor Manuel Soto Hermoso
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad de Granada
Ctra. Alfácar, s/n. Polígono "La Cartuja"
18011 Granada
E-mail: vsoto@platon.ugr.es



Víctor Manuel Soto Hermoso: Profesor titular de Biomecánica, Doctor en Educación Física y Deportiva, Dpto. Ed. Física y Dep., Universidad de Granada.



Francisco Javier Rojas Ruiz: Profesor asociado de Biomecánica, Doctor en Educación física y Deportiva, Dpto. Ed. Física y Dep., Universidad de Granada.



Francisco Ortega Gómez: Alumno 5º curso, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Granada. Diplomado en Ciencias de la Educación, especialidad de E.F. (Universidad Jaume I).



Fernando Isusi Fagoaga: Alumno 5º curso, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Granada. Diplomado en Ciencias de la Educación, especialidad de E.F. (Universidad Jaume I). Especialista Universitario en Psicología de la Act. F. y el Dep.

Resumen: En el presente trabajo se exponen algunos de los resultados metodológicos y cinemáticos más relevantes obtenidos tras el análisis de una amplia muestra de corredores mediodondistas y fondistas de élite regional, nacional e internacional. Este análisis, basado en la perspectiva de la Biomecánica Deportiva, realiza un estudio de diversos parámetros cinemáticos que determinan el comportamiento del retropié, analizándose la incidencia sobre el rendimiento deportivo, así como el campo de la prevención de lesiones. Para ello se ha diseñado un protocolo fotogramétrico bidimensional, basado en el registro del movimiento mediante vídeo. El tratamiento y obtención de resultados ha sido realizado en el Laboratorio de Biomecánica del Dpto. Ed. Física y Deportiva de la Univ. de Granada, em-

pleándose el instrumental, soportes lógicos y metodología desarrollada en dicho centro de investigación.

Palabras Clave: fotogrametría, biomecánica, cinemática, carrera, retropié, rendimiento deportivo.

Abstract: This study shows some relevant results obtained from a large group of different level mid-distance and long-distance runners. Using Biomechanical methodology and tools we analyze some kinematic parameters useful in rear foot motion analysis. This information is interesting from two different points of view: performance and the health of the lower extremity (prevention of injuries). In this sense, we develop a 2D photogrammetric protocol that permits us to register the movement by filming with video. The results have been obtained using software and methodology developed in the Laboratory of Biomechanics of the Department of Physical Education and Sport (Granada University, Spain).

Key Words: photogrammetry, biomechanics, kinematics, rear foot, performance.

1. INTRODUCCIÓN

El control del movimiento en las articulaciones del pie y del tobillo, es un campo de alto interés para muchos investigadores, tanto del ámbito clínico como del campo de la Biomecánica Deportiva. Este interés se basa en la hipótesis que indica que una excesiva pronación del tobillo durante la fase de amortiguación puede ser causa generadora de importantes lesiones en cadera, rodilla, tendón de Aquiles y el pie (MacIntyre, et al., 1991; Hintermann y Nigg, 1998). En este sentido la aportación de la Biomecánica Deportiva puede considerarse como una ayuda significativa en el análisis de los factores implícitos en este movimiento. Las aportaciones biomecánicas en este campo pueden resumirse en las siguientes (Edington y Cavanagh, 1990):

- La biomecánica, desde el punto de vista cinemático, permite describir de forma precisa la técnica de carrera empleada, la movilidad individual de cada articulación de la extremidad inferior, el análisis de las posibles asimetrías entre piernas, etc.
- Análisis de las fuerzas implicadas, para lo cual se hace imprescindible la participación de la cinética y la mecánica bioestructural de los tejidos.
- Análisis de la influencia del calzado y pavimentos (biomecánica del equipamiento deportivo).
- Observar los efectos de la fatiga sobre el apoyo (ergonomía deportiva).

El tópico de investigación motivo de este trabajo es conocido habitualmente bajo el término de "movimiento del retropie". Bajo esta línea de análisis es imprescindible la descripción del gesto analizándose el comportamiento de la parte posterior del pie, fundamentalmente en lo que respecta a la estabilidad medial y lateral. Uno de los problemas más analizados en esta línea es la pronación excesiva: sus causas, lesiones que conlleva, incidencia de la inclinación lateral (varo/valgo de tibia y fémur), implementos limitadores utilizados en el calzado, etc. (figura 1, ver pág. siguiente).

En la carrera, puede parecer un razonamiento lógico, el hecho de que exista una alta correlación entre pronar excesivamente y tener lesiones asociadas al miembro inferior. Esta hipótesis no está suficientemente contrastada en la bibliografía actual (Renstroem, 1991; Hintermann y Nigg, 1998). Algunos de los análisis realizados concluyen de la forma siguiente:

- Los corredores lesionados normalmente tienen una pronación entre 2°-4° mayor que aquellos que no presentan lesiones.
- De cualquier manera, entre un 40-50% de los corredores que presentan pronación excesiva no se lesionan.
- Una excesiva pronación no siempre genera lesión, pero predispone a ella.

A nivel metodológico, una vez realizado un breve repaso a la bibliografía específica que profundiza en este tópico, encontramos algunas de las siguientes conclusiones: habitualmente, se emplean metodologías fotogramétricas bidimensionales (2D), aunque serían más conveniente las tridimensionales (3D). Suelen emplearse filmaciones posteriores, detectándose mediante marcadores epidérmicos la orientación de los segmentos. El registro suele realizarse en tapiz rodante, lo cual facilita el proceso de captación del movimiento (filmación). Los estudios que analizan de forma comparada las diferencias entre correr en tapiz y en condiciones de campo, no encuentran diferencias cinemáticas significativas, aunque no se han empleado velocidades elevadas en este tipo de estudios. Los efectos de la fati-

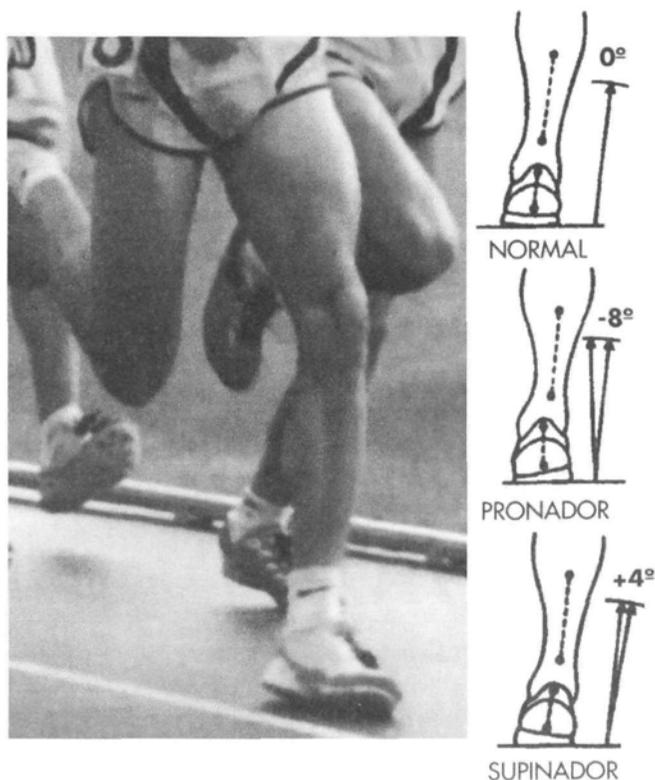


Figura 1. Movilidad del retropie del corredor.

ga no han sido analizados con detalle. Los protocolos suelen analizar solo un apoyo, no comparándose la diferenciación entre piernas (asimetrías). Se suele emplear calzado de entrenamiento (pesado, más de 275 grs, con funciones eminentemente protectoras en cuanto a la capacidad de amortiguación). Son escasos los estudios con calzado de competición (más ligero, menos de 250 grs). La mayor parte de los estudios son realizados a baja velocidad (3.0-4.5 m/s), utilizándose muestras reducidas en donde suelen escasear la utilización de corredores de cierto nivel.

En definitiva se puede decir que los protocolos que se encuentran en la bibliografía son adecuados para su empleo en poblaciones de deportistas ocasionales de carrera.

El objeto de esta comunicación es exponer un protocolo desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Granada, que pretende ser útil para facilitar el análisis de corredores de ámbito competitivo. Este protocolo puede emplearse como herramienta en aquellos centros que presten servicio de apoyo biomecánico a corredores, de forma habitual. Este protocolo permite:

- ¹⁾ Describir la cinemática precisa de ambas piernas.
- Deducir las asimetrías, comparando entre ambas piernas.

- Analizar el efecto de la variación de la velocidad de carrera.
- Observar los efectos de la fatiga.
- Realizar estudios transversales/longitudinales, seguimiento.
- Utilizar instrumental suficientemente preciso y no costoso.
- Automatizar la obtención de resultados.
- Obtener una base de datos para establecer comparaciones.

2. MÉTODO

2.1. Muestra

Se ha empleado como muestra un grupo de 40 corredores mediofondistas y fondistas, suficientemente entrenados que compiten asiduamente. El nivel competitivo es variado: nivel regional, nacional e internacional. Incluye atletas de ambos sexos (28 hombres y 12 mujeres) cuyas edades oscilan entre 16-35 años (media = 23). En este estudio hemos seleccionado los datos de los corredores mediofondistas y fondistas, aunque este protocolo también ha sido aplicado y disponemos datos de velocistas, saltadores, triatletas y jugadores de fútbol.

2.2. Material

Para la ejecución de este protocolo se requieren los siguientes dispositivos tecnológicos, y material diverso: un tapiz rodante que permita hasta 25 km/h y un 1% de inclinación, trípode y cámara de vídeo S-VHS con obturador e iris regulables, sistema de referencia 2D, 4 marcadores adhesivos sobre el calzado y tibia, un foco de luz posterior, espejo frontal para que el corredor valore subjetivamente su técnica (lo cual facilita la ejecución natural del gesto), pulsómetro para la valoración del registro cardíaco, báscula, tallímetro y cronómetro. El registro del movimiento es realizado mediante filmación con vídeo que posteriormente es tratada mediante soportes lógicos específicamente desarrollados a partir de adaptaciones de sistemas fotogramétricos 2D.

2.3. Registro del gesto

El corredor utiliza el calzado que habitualmente emplee, bien sea competitivo, o de entrenamiento. El tapiz se inclina un 1% para simular la resistencia aerodinámica, inexistente en condiciones de laboratorio; además debe ser calibrado mediante un cuentarrevoluciones. Se ubican marcadores epidérmicos sobre cuatro localizaciones predefinidas: parte inferior del talón, parte superior del talón, parte inferior de la tibia, parte superior de la tibia, esta última por debajo del vientre muscular del tríceps sural (figura 2, ver pág. siguiente). Esta ubicación sigue la marcación habitual en la bibliografía (Gheluwe y Madsen, 1997; Cavanagh, 1990).

De cada corredor se obtiene un cuestionario en donde se plantean determinados parámetros que pueden afectar a la ejecución del protocolo: secuelas de lesiones, características del calzado a utilizar, pierna dominante, patologías médicas, historial de lesiones agudas y crónicas, especialidad, nivel de rendimiento, etc.

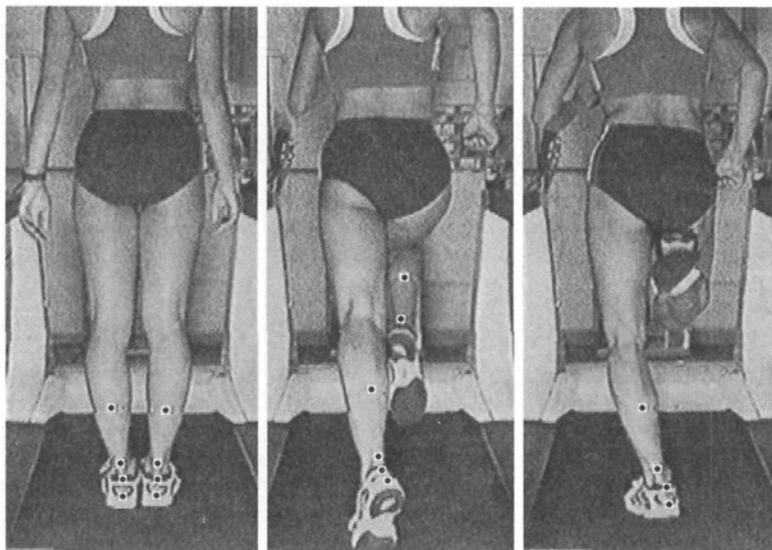


Figura 2. Ubicación de marcadores epidérmicos.

Previamente se realiza un calentamiento estandarizado sobre tapiz a una velocidad de 5-10 km/h. En corredores no habituados al uso del tapiz, es necesario un tratamiento de adaptación que puede requerir un número variable de sesiones previas de carrera sobre tapiz a distintas velocidades.

El protocolo propiamente dicho establece la ejecución de tres paliers: el primero a 15 km/h (4.16 m/s), el segundo a 20 km/h (5.55 m/s), y un tercero denominado de "velocidad máxima subjetiva". Cada palier requiere una progresiva aceleración desde 5 km/h hasta llegar, en menos de 1 minuto, a la velocidad establecida, manteniéndose ésta durante unos 10 segundos durante los cuales se registra el movimiento a velocidad constante. El tercer palier, se realiza a la máxima velocidad que puede adquirir el corredor sobre el tapiz, siempre y cuando sea capaz de mantenerla al menos unos 10 segundos. Esto quiere decir que el corredor inicia una carrera progresivamente acelerada tomando, en el momento que el considere oportuno, la decisión de no seguir incrementando cuando considere que ha alcanzado su máxima velocidad, registrándose 10 segundos a velocidad constante.

Al finalizar cada palier se determina la frecuencia cardíaca final, para lo cual se utiliza un pulsómetro durante la ejecución del protocolo. La duración de cada palier es cronometrada.

2.4. Fase de computerización

La gestión de la filmación obtenida es realizada mediante una adaptación del soporte lógico Cyborg v.3.0 (Soto, 1995), al cual se le ha implementado un módulo de cálculos cinemáticos especialmente diseñado para este estudio. Este soporte lógico, basado en la tradicional metodología fotogramétrica propia del ámbito de la biomecánica deportiva, realiza todo el pro-

ceso de introducción (digitalización), tratamiento de los datos (suavizado, interpolación y reconstrucción), así como la obtención de los parámetros cinemáticos relevantes del corredor.

Se analizan cuatro apoyos consecutivos de cada palier, digitalizándose siete puntos (talón inferior, talón superior, tibia inferior, tibia superior, rodilla, cadera, pliegue intermedio entre glúteos), deduciéndose como eventos significativos los cinco siguientes:

- Instante previo al impacto inicial.
- Impacto inicial (adelantado o retrasado).
- Máxima pronación.
- Elevación del talón.
- Final del apoyo.

El sistema permite la utilización de algoritmos de suavizado, interpolación, y reconstrucción. Finalmente los resultados son automáticamente deducidos con un módulo de cálculos especialmente diseñado para su utilización con este protocolo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. En cuanto a metodología

- Es imprescindible calibrar el tapiz, ya que no siempre es fiable el indicador de velocidad que viene instalado de fábrica, utilizándose para ello un cuentarrevoluciones. Muchos tapices pueden ver alterada de forma errónea la lectura de la velocidad debido a factores tales como: el uso prolongado, el peso del corredor, utilización de velocidades de ejecución muy elevadas (más de 20 km/h), etc.
- Algunos corredores requieren un periodo previo de adaptación al desplazamiento sobre el tapiz, más si cabe a altas velocidades. Una vez habituado, la cinemática es similar a la empleada en un pavimento normal. En este sentido los velocistas suelen tener problemas a altas velocidades, requiriéndose periodos de adaptación más prolongados al tapiz. Habitualmente los mediofondistas y fondistas no plantean problemas en este sentido.
- Una metodología 3D sería más precisa pero retardaría el proceso, postergándose la obtención de resultados. De ahí que se opte por mantener la metodología 2D en aquellos casos en los que se utilice este protocolo para prestar un servicio que requiera la obtención de informes inmediatos.
- Los cálculos temporales tienen un margen de error de ± 0.02 segundos debido a la frecuencia de muestreo de la filmación con vídeo (50 Hz). Esto impide hacer valoraciones precisas del tiempo de apoyo, salvo que las diferencias sean superiores a 0.02 s, en cuyo caso si son valorables.

3.2. En cuanto a los resultados cinemáticos

Los parámetros cinemáticos analizados básicamente se resumen en dos bloques: (a) análisis temporal del apoyo, y (b) análisis angular. Dentro del análisis temporal (figura 3, ver pág. siguiente), se deduce el tiempo total de cada apoyo, así como las fases en las que éste se desglosa: fase 1 (desde el instante del contacto inicial hasta el instante en donde se obtiene la máxima pronación), fase 2 (desde la máxima pronación hasta que se eleva el talón) y fase 3 (desde la elevación del talón hasta el final de la fase de apoyo).

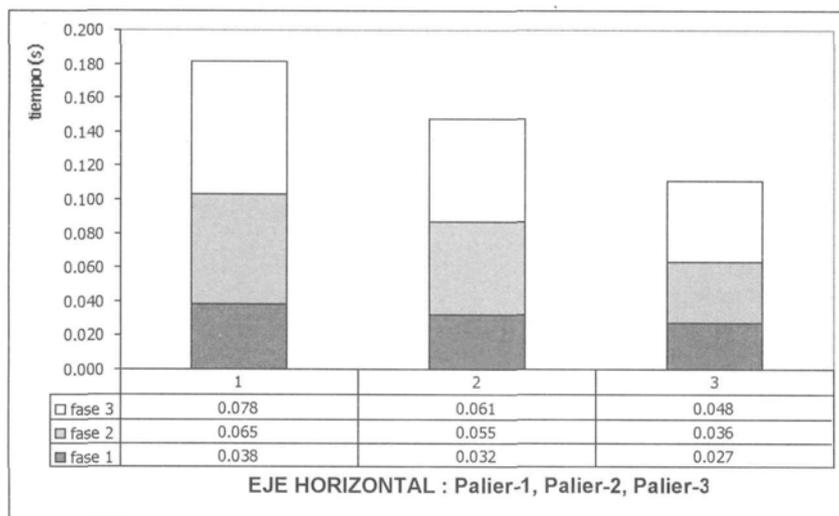


Figura 3. Análisis temporal del apoyo: tiempo invertido (en segundos) en cada fase del apoyo (fases 1, 2 y 3). De cada corredor se ha obtenido la media de los cuatro apoyos consecutivos analizados, para finalmente obtener la media de todos los corredores (n = 40). Se expresan por separado los resultados palier por palier.

Por otro lado, el análisis angular describe la orientación de los segmentos de la extremidad inferior, para lo cual se han descrito cinco ángulos, analizándose su evolución a lo largo de la duración de todo el apoyo (figuras 4 y 5). Cada ángulo es deducido a partir del valor medio obtenido de los cuatro apoyos consecutivos analizados.

El ángulo del fémur indica la inclinación vertical del segmento muslo (0° indica una inclinación perpendicular con el pavimento). El segmento es referenciado por los puntos de la cadera y rodilla, indicándose el varo (inclinación medial) en valores negativos y el valgo (inclinación lateral) en valores positivos (figura 6, ver pág. 100). De todos los segmentos, éste es el que menor variación obtiene en la muestra analizada, encontrándose habitualmente siempre alineado con respecto al pavimento (mín: -0.19°, máx: -1.85°).

El ángulo de la tibia indica la inclinación vertical del segmento pierna (0° indica una inclinación perpendicular con el pavimento). El segmento es referenciado por los marcadores epidérmicos ubicados en la parte inferior de la tibia, utilizándose el mismo convenio para el varo y valgo indicado en el fémur (figura 7, ver pág. 100). Todos los corredores tienen varo de tibia durante todo el apoyo, existiendo una tendencia a incrementarlo negativamente a medida que se incrementa la velocidad.

El ángulo del talón indica la inclinación vertical del retropié (0° indica una inclinación perpendicular con el pavimento). El segmento es referenciado por los marcadores epidérmicos ubicados en la parte posterior del calzado, utilizándose el mismo convenio para el varo y valgo indicado en el fémur (figura 8, ver pág. 101). Todos los corredores tienen varo de talón, durante todo el apoyo, existiendo una tendencia a incrementarlo negativamente a medida que se incrementa la velocidad.

s032p3.BID S32_Palier3
 (fot.actuall/nf) = 7 / 55
 comentario = ' _ ' APOYO DERECHO

DETERMINACIÓN DE ÁNGULOS
 -2.95° fémur-vert (var.)
 -10.18° tibia-vert (var.)
 0.00° talón-vert (val.)
 7.22° tibia-fémur (sup.)
 -10.18° talón-tibia (pro.)

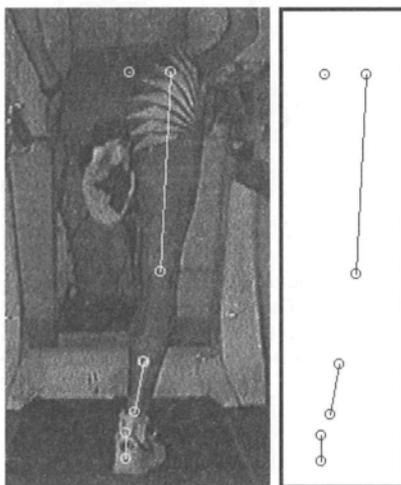


Figura 4. Análisis angular del apoyo: obtención de ángulos en un fotograma concreto del apoyo de un mediodfondista concreto (sujeto 32).

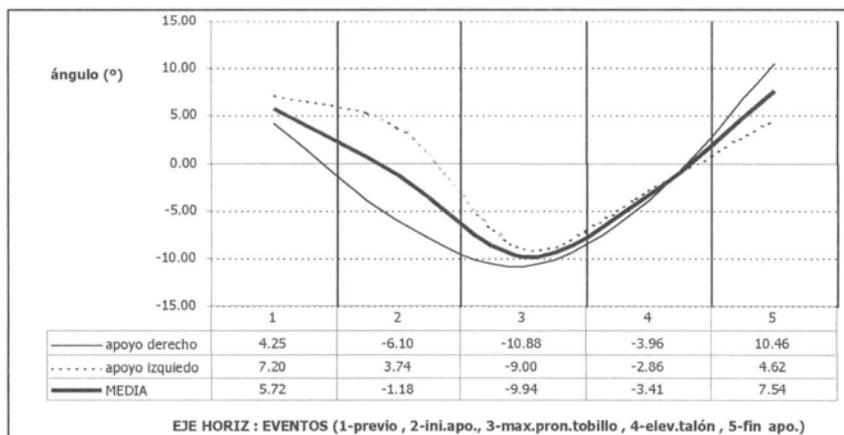


Figura 5. Análisis angular del apoyo: ejemplo de informe del cálculo del ángulo del tobillo de un mediodfondista concreto (sujeto 32).

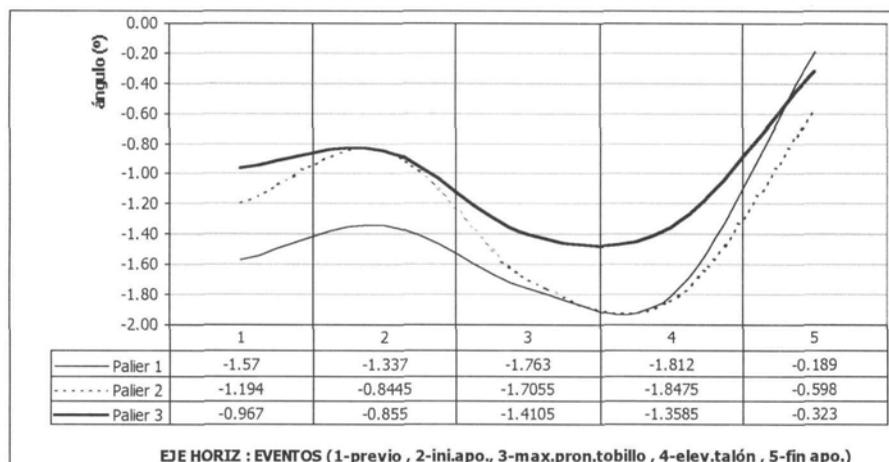


Figura 6. Análisis del ángulo de inclinación vertical del fémur (en grados): en cada uno de los cinco eventos temporales analizados. De cada corredor se ha obtenido la media de los cuatro apoyos consecutivos analizados, para finalmente obtener la media de todos los corredores (n = 40). Se expresan por separado los resultados palier por palier.

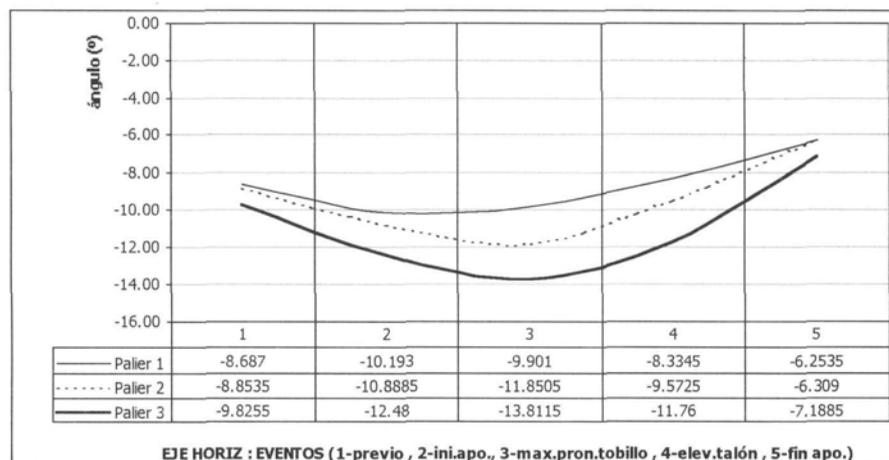


Figura 7. Análisis del ángulo de inclinación vertical de la tibia (en grados): en cada uno de los cinco eventos temporales analizados. De cada corredor se ha obtenido la media de los cuatro apoyos consecutivos analizados, para finalmente obtener la media de todos los corredores (n = 40). Se expresan por separado los resultados palier por palier.

El ángulo de la rodilla indica la flexión lateral o medial existente entre el segmento muslo y pierna (0° indica que ambos segmentos están perfectamente alineados). La flexión lateral se indica con valores positivos, y la flexión medial con valores negativos (figura 9). Todos los corredores presentan flexión lateral durante todo el apoyo, existiendo una tendencia a incrementarla a medida que se incrementa la velocidad.

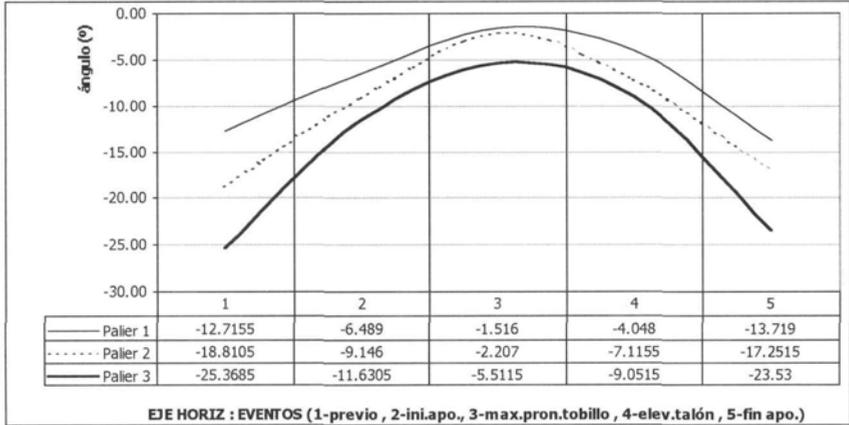


Figura 8. Análisis del ángulo de inclinación vertical del talón o retropie (en grados): en cada uno de los cinco eventos temporales analizados. De cada corredor se ha obtenido la media de los cuatro apoyos consecutivos analizados, para finalmente obtener la media de todos los corredores ($n = 40$). Se expresan por separado los resultados palier por palier.

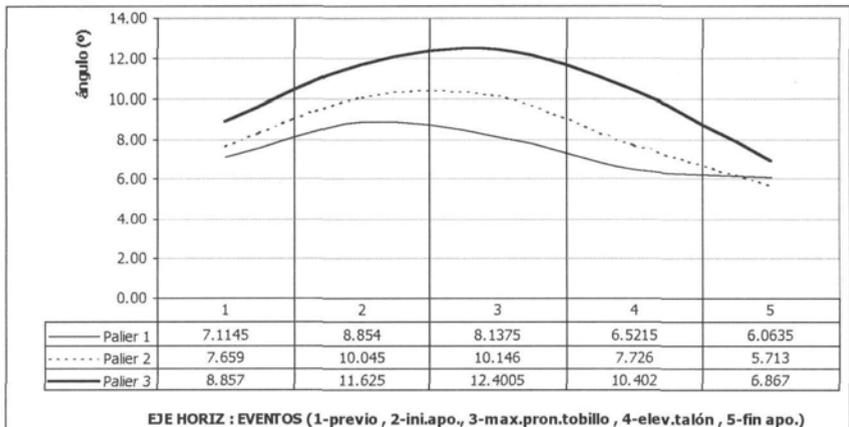


Figura 9. Análisis del ángulo de flexión lateral/medial de la rodilla (en grados): en cada uno de los cinco eventos temporales analizados. De cada corredor se ha obtenido la media de los cuatro apoyos consecutivos analizados, para finalmente obtener la media de todos los corredores ($n = 40$). Se expresan por separado los resultados palier por palier.

Y por último, el ángulo del tobillo indica la flexión lateral o medial existente entre el segmento tibia y retropie (0° indica que ambos segmentos están perfectamente alineados). Los valores negativos indican flexión medial, que equivale a lo que conocemos como pronación, mientras que la supinación se corresponde con la flexión lateral en valores positivos (figura 10, ver pág. siguiente). El incremento de velocidad no suele modificar de forma significativa este ángulo.

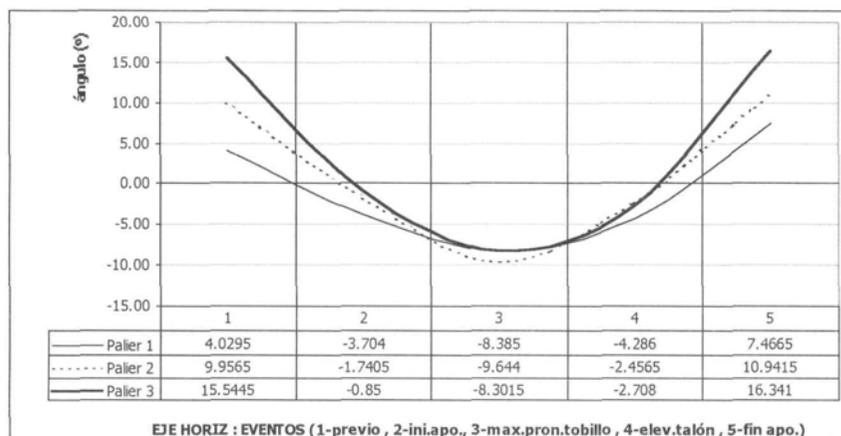


Figura 10. Análisis del ángulo de flexión lateral/medial del tobillo (en grados): en cada uno de los cinco eventos temporales analizados. De cada corredor se ha obtenido la media de los cuatro apoyos consecutivos analizados, para finalmente obtener la media de todos los corredores (n = 40). Se expresan por separado los resultados palier por palier.

Los resultados obtenidos en la muestra de mediodfondistas y fondistas analizados (n = 40), pueden resumirse en los siguientes:

- Es tan importante la alta incidencia de pronación excesiva como el varo excesivo de tibia.
- En cuanto a la alineación vertical de los apoyos, se puede decir que escasean los corredores normales (25%), y aún más los supinadores (2%), siendo los pronadores (leves y profundos) un caso muy habitual (73%).
- Los pronadores excesivos suelen realizar una supinación refleja intensa instantes antes del impacto, este hecho es debido a la participación de mecanismos reflejos que permiten proteger al tobillo de la elevada pronación posterior.
- El cuanto al tipo de apoyo, los corredores de apoyo adelantado suelen obtener valores inferiores de pronación, que los de apoyo retrasado.
- El análisis diferencial entre ambas piernas realizado (simetría), nos indica que es frecuente encontrar diferencias significativas en la cinemática empleada por ambas.
- Al haberse analizado cuatro apoyos consecutivos en cada palier, se han obtenido parámetros acerca de la variabilidad dentro del mismo apoyo (derecho con derecho, izquierdo con izquierdo), no habiéndose encontrado diferencias significativas en este sentido.

4. TENDENCIAS FUTURAS

En estos momentos estamos desarrollando otro protocolo de campo para estudiar el gesto en condiciones reales (en la pista), en donde se pueden establecer con más fiabilidad velocidades elevadas, así como fatiga en condiciones de velocidad de competición.

Además se seguirá ampliando la base de datos actual, ampliándose a todo tipo de corredores, no solo los de ámbito competitivo, sino también de tipo recreacional.

Se pretende que este protocolo, el soporte lógico y la metodología, esté disponible para centros de alto rendimiento y demás organismos (públicos o privados) que se constituyan como prestadores de servicios.

La disponibilidad de plantillas instrumentadas se consideraría un complemento ideal que implicaría una mejor comprensión de las fuerzas generadas en el apoyo, así como una más precisa determinación del análisis temporal. Su sincronización con los parámetros cinemáticos completaría adecuadamente un informe del gesto de carrera.

5. BIBLIOGRAFÍA

- CAVANAGH, P. R. (1990). *Biomechanics of distance running*. Ed. Human Kinetics, Champaign, EEUU.
- EDINGTON, C. J. y CAVANAGH, P. R. (1990). Rearfoot motion in distance running. En: Cavanagh, P.R. *Biomechanics of distance running*. Ed. Human Kinetics. 135-164.
- GHELUWE, B. Van y MADSEN, C. (1997). Frontal rearfoot kinematics in running prior to volitional exhaustion. *Journal of Applied Biomechanics*. 13, 66-75.
- HINTERMANN, B. y NIGG, B. M. (1998). Pronation in runners: implications for injuries. *Sports Medicine*. 26, 3, 169-176.
- MACINTYRE, J. G.; TAUNTON, J. E.; CLEMENT, D. B. et al (1991). Running injuries: a clinical study of 4173 cases. *Clin. Journal of Sports Medicine*. 1, 81-87.
- RENSTROEM, P. A. (1991). Prevention of sport injuries. En: Kannu, P. y Krauss, R. H. editores. *Sports Medicine*. Philadelphia, W. B. Saunders, 53-72.
- SOTO, V. M. (1995). *Desarrollo de un sistema fotogramétrico tridimensional computerizado para el análisis del deporte y la representación gráfica realista del cuerpo humano*. Tesis doctoral, servicio de publicaciones de la Universidad de Granada.

EL APOYO BIOMECÁNICO A LOS DEPORTES CON SOLICITUD DE CADENA CINEMÁTICA DEL MIEMBRO SUPERIOR (NATACIÓN, JABALINA, TENIS Y BOCCIA)

BIOMECHANICAL SUPPORT FOR SPORTS
INVOLVING THE UPPER LIMB MOVEMENT CHAIN
(SWIMMING, JAVELIN, TENNIS AND BOCCIA)

*Balius, X.
Roig, A.*

Dirección para correspondencia:

Xavier Balius

Jefe del Departamento de Biomecánica

Centro de Alto Rendimiento

Avda. Alcalde Barnils, s/n

08190 Sant Cugat del Vallès (Barcelona)

E-mail: xbalius@car.edu



Xavier Balius: Jefe del Departamento de Biomecánica. Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallès. Título de Entrenador Nacional de Voleibol. Licenciado en Educación Física (INEFC-Barcelona) 1988. Master en Ciencias del Deporte (Indiana University-USA) 1990.



Andreu Roig: Colaborador del Departamento de Biomecánica. Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallès. Entrenador Ademar Badalona (1.ª División de Baloncesto). Título de Entrenador Nacional de Baloncesto. Licenciado en Educación Física (INEFC-Barcelona) 1992.

Resumen: En el Departamento de Biomecánica del CAR de Sant Cugat la asistencia a una serie de deportes donde predomina la utilización del miembro superior nos ha hecho recapacitar sobre las aportaciones que, siempre por separado, puede dar el estudio de cada uno de estos deportes para el entendimiento del movimiento global del mismo. Si bien la natación no se identifica como lanzamiento, el estudio de la actividad del brazo para la propulsión y su efecto en el avance del nadador, nos proporciona un protocolo de trabajo basado en la utilización del velocímetro, sobre el cual podrían en el futuro basarse posibles análisis de lanzamientos. Por otro lado, el exhaustivo análisis realizado en deportes como la jabalina y el tenis, podría bien aportar conocimientos a partir de los cuales entender mejor la mecánica del gesto balístico. El concepto de cadena de movimiento aplicable a estos dos deportes nos permite de alguna manera entender mejor el movimiento realizado en otros tan dispares como la boccia, deporte paralímpico incorporado al departamento a través de la investigación llevada a cabo por una de las entrenadoras de este deporte. En esta ponencia pretendemos comunicar nuestro trabajo asistencial y las herramientas basadas en el biofeedback que nos permiten ganar poco a poco la parcela que queremos definitivamente ocupar como asesores de la técnica en la sesión de entrenamiento.

Palabras Clave: biomecánica, cinemática, miembro superior, natación, jabalina, tenis, boccia.

Abstract: As a service of the Biomechanics Department of the Olympic Training Center (CAR), support for sports with a high predominance of use of the arm has allowed us to understand its function globally thanks to the individualised study of the sports that predominantly use the arm. It is obvious that the work of the arm in swimming is not similar to that of a throwing event, even though the analysis of the activity of the arm in relation to propulsion, thanks to the application of speed-meters, can allow us to transfer this methodology to the analysis of throwing events. Also, detailed analysis carried out with sports like tennis or javelin throw, can evidently offer us a better knowledge of the ballistic movements

performed with the arm. The concept of the movement chain allows us to better understand others sports like boccia, a paralympic sport recently incorporated into the department to be researched. In this presentation we aim to communicate the work of our department, and the tools involved based on biofeedback methodology, that allow us, little by little, to offer better assistance for the training sessions through technique assessment.

Key Words: biomechanics, kinematics, arm, swimming, javelin, tennis, boccia.

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento (CAR) de Sant Cugat del Vallès ha dedicado buena parte de la presente temporada a la asistencia de deportes con una característica común: el uso de la extremidad superior como determinante del éxito de la actividad que se realiza. Si bien esta aproximación al tema puede parecer excesivamente basta, lo que pretendemos no es solamente diferenciar este tipo de actividades de las que solamente utilizan el tren inferior para conseguir un éxito, sino que lo que queremos destacar es que el análisis exhaustivo, junto a un estudio global de dicho miembro nos puede enriquecer a la hora de interpretar los datos obtenidos en el análisis de estos deportes. En otras palabras, pretendemos englobar dentro de un mismo 'cajón de sastre' unos protocolos de intervención o unas interpretaciones detalladas del gesto, para de alguna manera culturizarnos en los esfuerzos que el hombro, de forma genérica es capaz de desarrollar. Convertir este interés en línea de investigación sería demasiado amplio, la divergencia mecánica entre los gestos técnicos estudiables sería tan grande que nunca podríamos llegar a concretar ni siquiera una metodología de análisis válida para todos los deportes. Por el contrario sí podemos definir el interés por el miembro superior como una línea de trabajo donde todos los enfoques sean válidos: simplemente se trata de entender al hombro, o al codo, o a la muñeca, o la relación que estos tienen con un implemento que lanzar, un entorno al que adaptarse, o un cuerpo al cual transmitir o del cual recibir una determinada energía. El protagonista es el miembro superior 'per se', el brazo, y todo aquello que este es capaz de hacer.

Bien sea de manera detallada y objetiva, o bien de manera cualitativa y en función de la interpretación de unas imágenes, el biomecánico debe conseguir introducirse de lleno en la sesión de entrenamiento. El entrenador es el director de un concierto donde los instrumentos pueden ser tocados por virtuosos. El biomecánico debe ser uno de ellos, no solamente desde su laboratorio donde con instrumentos más o menos sofisticados evaluará las cualidades mecánicas del deportista, sino que debe asistir a cuantas más sesiones de entrenamiento posibles mejor, para poder conocer mucho mejor la evolución de la técnica del deportista. No se trata solamente de estudiar como es la técnica de ese deportista en un momento determinado de la temporada, sino también de entender como ha llegado a evolucionar hasta el momento en que la estamos estudiando. Este pequeño detalle con el que es fácil estar de acuerdo es realmente difícil de conseguir si el biomecánico no es además de biomecánico, entrenador en activo del deporte que estudia, y eso no debería solamente ser así. Por otro lado conocer realmente la técnica de un deporte conlleva tiempo, no se trata de asistir a las sesiones de entrenamiento solamente, sino que se trata de evaluar en todas las sesiones posibles ya sea de manera objetiva, o dirigiendo la sesión técnica del deportista. Para esta última afirmación, la que será más difícil de conseguir, necesitamos convencer al entrenador del beneficio que supondría trabajar casi diariamente con un asesor técnico biomecánico que no dejara relajar al deportista en cuestiones de realización correcta de la técnica, tanto en lo que se refiere a técnica en sí de ese deporte como a la técnica utilizada en su preparación física.

En el departamento de biomecánica hemos tenido afortunadamente ya una experiencia en este sentido. Con el grupo de natación de la Federación Catalana se concretaron aparte de los tests habitualmente realizados, unas sesiones donde el entrenador daba al biomecánico plena confianza en el trabajo de la técnica. Ello nos obligó el tener que encontrar y poner a punto sistemas de control casi instantáneo de la técnica del nadador. El vídeo, y la

utilización de un velocímetro están ya jugando un importante papel en la asistencia biomecánica a este grupo. La superposición de la gráfica de velocidad del velocímetro sobre la imagen del vídeo está ofreciendo un nuevo enfoque de trabajo al departamento, mucho más cualitativo sin dejar de ser objetivo, que nos permite evaluar con velocidad y mediante una comunicación directa con el deportista, y siempre con el conocimiento del entrenador, los pequeños detalles técnicos que pueden pasar desapercibidos en los controles periódicos mensuales realizados a estos nadadores (Gráfico 1).

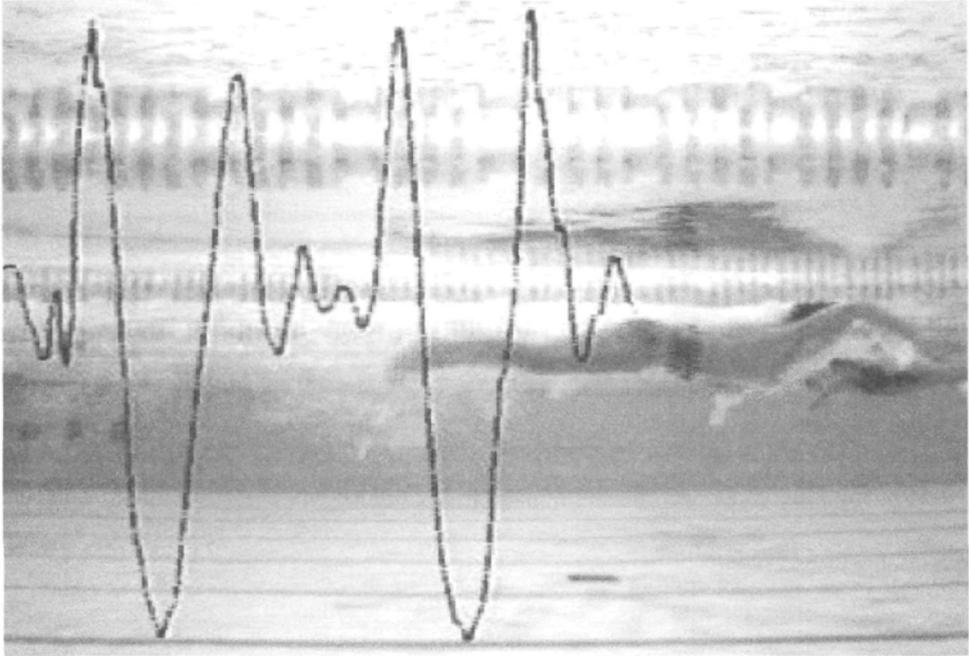


Gráfico 1. Evolución de la velocidad del nadador incrustada en la imagen del vídeo.

La experiencia en esta mayor aproximación al muchas veces mencionado biofeedback nos ha animado a pensar que otros deportes podrían también beneficiarse de este tipo de recursos, en concreto los deportes con cadenas cinemáticas de movimiento del miembro superior como la jabalina y el tenis. Con ambos se está trabajando en el análisis exhaustivo de variables mecánicas que nos describan el movimiento para, a partir esta base de datos suministrar información clara y sencilla de la realización del gesto. Posteriormente la claridad de informes que expliquen mediante gráficos escuetos y precisos el como se ha realizado correctamente, o no, el gesto técnico permitirá una comunicación mucho más dinámica y eficaz con el entrenador y el deportista (Gráfico 2): volvemos al mismo objeto desarrollado más arriba donde la comunicación cumple un papel importantísimo en la asistencia biomecánica.

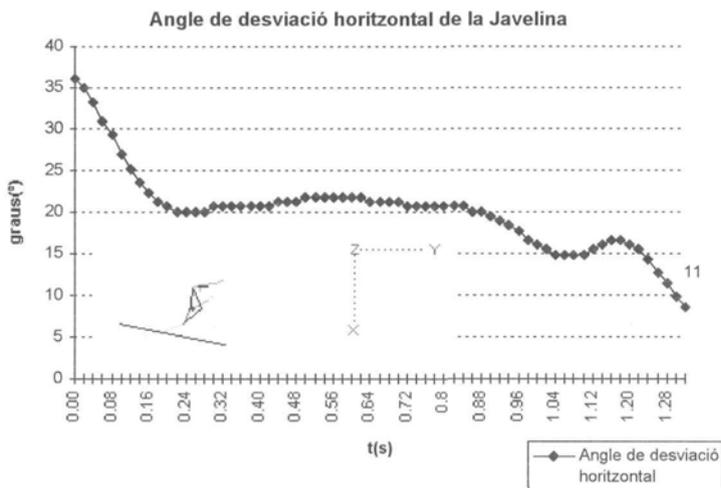


Gráfico 2. Evolución del ángulo de desviación horizontal de la jabalina con respecto al eje Y (eje longitudinal a la trayectoria de lanzamiento).

Es por ello que en estos deportes de gran contenido técnico nos planteamos el encontrar tecnologías que respondan a las necesidades del entrenador en la sesión de entrenamiento, y no solo a nuestras necesidades de estudio o investigación. El futuro inmediato para con la asistencia a la jabalina y el tenis pasa ahora mismo por implementar herramientas parecidas a la utilizada en natación. En este caso a partir de la activación eléctrica muscular pensamos que podemos controlar la coordinación del movimiento balístico de nuestros lanzadores. De esta manera sincronizando vídeo y EMG podemos ofrecer una interpretación inmediata de como se esta realizando el gesto. A su vez, y gracias a la utilización de sistemas de análisis bidimensional podemos incluso en la misma sesión de entrenamiento ofrecer datos simples, aunque un tanto más erróneos, de la cinemática del lanzamiento, o del saque. De todas maneras, y puesto que estamos grabando como normalmente haríamos, estamos siempre a tiempo de seguir alimentando nuestra base de datos exhaustiva de los gestos técnicos estudiados: el ciclo se cierra sin perder calidad de información.

Esta inquietud por los deportes con solicitud del miembro superior nos ha llevado a aceptar el primer trabajo de investigación sobre un deporte paralímpico en el departamento, la boccia. La boccia es un deporte practicado principalmente por paralíticos cerebrales con una reglamentación que recuerda el juego de la petanca. El departamento de biomecánica está ayudando a la realización de un proyecto sobre la adaptación de esta población a los centros de educación secundaria. Dentro del proyecto, como subapartado, la interesada, una entrenadora del deporte de la Boccia, quería realizar una aproximación biomecánica a este deporte para demostrar la utilidad de la ciencia para con estos deportistas. En este caso el trabajo de investigación consiste en averiguar que tipo de técnica de aproximación de las bolas al boliche tiene mayor éxito. Cuatro técnicas son las evaluadas: lanzamientos con el brazo por encima del hombro con y sin rebote, y lanzamientos con el brazo por de-

bajo del hombro con y sin rebote. De estas técnicas se ha valorado en función de un número de repeticiones cual de ellas obtiene un mejor resultado en la aproximación, y por otro lado la biomecánica intenta conocer si existe alguna de estas técnicas que el jugador sea capaz de repetir con el mínimo de variabilidad en los parámetros mecánicos calculados. La altura de lanzamiento, distancias de preparación, la velocidad de ejecución son algunos de los parámetros evaluados. En concreto no se intenta demostrar si una técnica es mecánicamente mejor que otra, sino que se pretende averiguar con cual de ellas parece que existe más control de ejecución.

El trabajo se encuentra actualmente en curso y se desconoce aún si alguna de estas técnicas es menos variable que otras, y si esta es la misma con la que se han conseguido los mejores resultados. Se pretende además que en el supuesto de que exista esta técnica más adaptada, esta sea reforzada en la sesión de entrenamiento para conseguir los objetivos pretendidos.

El interés de esta ponencia es el de transmitir una serie de experiencias que en el año en curso estamos desarrollando en el departamento de biomecánica del CAR de Sant Cugat con los deportes con solicitud especial del miembro superior. Esta experiencia nos está ofreciendo la posibilidad, desde la divergencia de los deportes que son tratados, de tener una visión más amplia de las posibilidades de acción del miembro superior. La transmisión de información en cuanto a protocolos de trabajo e interpretación de los resultados obtenidos, sin entrar en comparaciones absurdas, nos está permitiendo avanzar hacia técnicas más cualitativas de análisis. Estas técnicas nos proporcionan en algunos casos el realmente trabajar en la sesión de entrenamiento para ir ganando, siempre bajo la confianza del entrenador, la parcela como asesores de la técnica por la que creemos que debemos trabajar.

UNA PROPUESTA PARA LA CORRECCIÓN TÉCNICA EN TIRO: PRECISIÓN Y VELOCIDAD

A PROPOSAL FOR THE TECHNICAL IMPROVEMENT
IN SHOOTING-SPORT: ACCURACY AND VELOCITY

*García, F.
Arellano, R.
De la Fuente, B.*

Dirección para correspondencia:

CAR de Sierra Nevada. Consejo Superior de Deportes
Sierra Nevada, Monachil
18196 Granada
ESPAÑA
Tel.: 958 480 744
Fax: 958 482 004
E-mail: car.granad@csd.mec.es
fgarcial@trevenque.es



Francisco García López: Licenciado en Física Electrónica. Responsable del área de Análisis del Movimiento Humano del CAR de Sierra Nevada. Profesor del Master de Alto Rendimiento organizado por el Centro de Estudios Olímpicos.



Raúl Arellano Colomina: Doctor en Educación Física. Profesor titular de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Granada. Profesor del Master de Alto Rendimiento organizado por el Centro de Estudios Olímpicos.



Blanca de la Fuente: Licenciada en Educación Física. Colaboradora en el área de Análisis del Movimiento Humano del CAR de Sierra Nevada. Actualmente realiza el doctorado en el Departamento de Educación Física de la Universidad de Granada.

Resumen: En deportes donde la posición corporal está por encima de cualquier otra variable, como es el caso de tiro de precisión, un análisis en detalle de este aspecto permite corregir o al menos saber qué ocurre antes, durante y después del disparo. También es importante conocer la distribución de los disparos a lo largo de una serie, así como los tiempos de recuperación, las veces que se renuncia, etc.

En la siguiente comunicación se presentan los análisis realizados al Equipo Nacional de Tiro de Precisión en el C.A.R. de Sierra Nevada, que han servido como experiencia piloto para futuros análisis de posición y especialmente de estabilidad.

A petición de los entrenadores, los objetivos de este análisis consistían en mostrar el desarrollo temporal de una competición simulada, el análisis del centro de presión en las fases críticas del disparo y el estudio de los posibles movimientos de la cabeza en pistola de velocidad.

Para la realización de estos tests se utilizó el siguiente material: Plataforma de fuerza Kistler, sistema V-Scope, Cámara de video SVHS, sincronizador Vcrono, Ordenador Pentium 350 MHz con una tarjeta capturadora ATI all in Wonder Pro.

INTRODUCCIÓN

En el año 1994 se creó la Unidad de Análisis del Movimiento Deportivo del CAR de Sierra Nevada a partir de la reestructuración habida en el Convenio existente entre la Universidad de Granada y el Consejo Superior de Deportes. Los objetivos fundamentales de esta Unidad consistían en crear "herramientas" para el control de la técnica deportiva, colaborar en la planificación y dosificación del entrenamiento y cooperar en, o desarrollar directamente proyectos de investigación relacionados con el análisis de la técnica deportiva.

Después de 5 años de funcionamiento se ha llegado a desarrollar una serie de tests que permiten dar un servicio básico a los equipos que hacen uso de nuestras instalaciones.

El sistema empleado para realizar los protocolos indicados anteriormente se ha basado dos pilares fundamentales: La iniciativa del entrenador y las referencias obtenidas de la literatura científica.

En el año 1997 la concentración del Equipo Nacional de Tiro Olímpico nos solicitó realizar un estudio de una competición simulada de tiro de precisión. Consistía en realizar 50 disparos en 1 hora como máximo. Las variables sometidas a estudio fueron las siguientes:

- Instante en el que empieza a subir el arma.
- Instante en el cual la pistola está estable.
- Instante en el que ocurre el disparo.
- Instante en el que baja la pistola.

A partir de estas variables se construyó una tabla donde se pueden observar los tiempos parciales de cada fase del disparo (Staniszewsky, C., Navio Miguel).

Gracias a la nueva dotación de material técnico realizada por el Consejo Superior de Deportes hacia esta Unidad, se ha podido aumentar el número de variables a controlar, y por lo tanto mejorar sustancialmente el test citado anteriormente.

OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio fueron los siguientes:

Test pistola de precisión

- a) Mostrar el desarrollo temporal de una competición simulada.
- b) Análisis del centro de presión en las fases críticas del disparo.

Test pistola de velocidad

- c) Desarrollo temporal de la ejecución técnica.
- d) Estudio de los posibles movimientos de la cabeza en el desarrollo de la prueba.

MATERIAL Y MÉTODO

Pistola de Precisión

Para la realización de este test se utilizaron dos sistemas independientes, sincronizados entre sí gracias al disparador externo de registro de datos del programa Bioware (2812A1-3) y el sistema Vcrono: Por un lado una plataforma de fuerza y por otro un sistema de filmación.

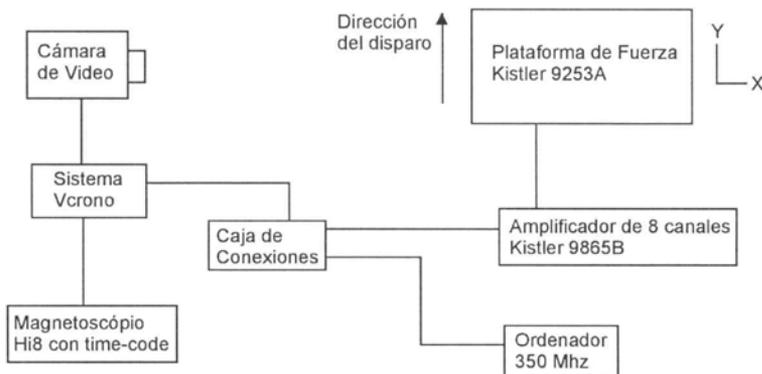


Figura 1. Distribución del material necesario para el test de pistola de velocidad.

En este test se realizaron 4 sesiones de 5 minutos de duración. El sujeto debía realizar 20 disparos distribuidos entre estas 4 sesiones.

Pistola de Velocidad

Para la realización de esta prueba se utilizaron igualmente dos sistemas: V-Scope para detección del movimiento de la cabeza y una sistema de filmación (ver fig. 2).

El sistema V-Scope consiste en un sensor de posición que contiene un receptor IR y un transmisor de ultrasonidos. A través de tres torres y por triangulación se obtiene la posición del sensor con una precisión próxima a 0.01 mm.

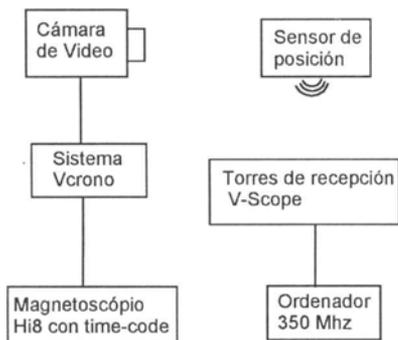


Figura 2. Sistema empleado en el test pistola de velocidad.

El protocolo empleado en este caso era el siguiente: El entrenador accionaba los blancos giratorios. El sujeto debía realizar 5 disparos en intervalos de 7 segundos. Todos los ensayos fueron realizados en vacío. Cada sujeto realizó el duelo 3 veces.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pistola de Precisión

En la tabla 1 se muestra los resultados temporales de una de las series realizadas.

Tabla1. Resultados temporales de una serie. Todos los tiempos están en segundos. N: Disparos realizados, Tsubi: Instante en que decide empezar el movimiento. Tinicio: T en donde visulmente la pistola está estable. Tdisp: cuando dispara, Tfinal: T cuando baja la pistola. Ti: parciales. Nt: Intentos realizados

N	Tsubi	Tinicio	Tdisp.	Tfinal	T0	T1	T2	T3	Nt
	9.93	17.11	17.11	22.89	7.18	0.00	5.78	21.92	1
1	44.81	51.03	57.99	59.33	6.22	6.96	1.34	28.62	2
2	87.95	94.79	102.07	104.05	6.84	7.28	1.98	35.88	3
3	139.93	147.27	150.87	153.93	7.34	3.60	3.06	33.32	4
4	187.25	194.07	201.91	204.77	6.82	7.84	2.86	39.54	5
5	244.31	251.59	257.83	261.01	7.28	6.24	3.18		6

El parcial T1 nos indica el tiempo que el sujeto estuvo buscando el blanco. Quizás sea el más significativo y por lo tanto indica si la ejecución fue correcta o no. Si este tiempo es muy largo, hace que halla problemas de coordinación de respiración y fatiga, además de los aspectos psicológicos que no deben ser olvidados en este tipo de pruebas. El precipitarse en el disparo supone no haber tenido tiempo de fijar el blanco. En este caso, se observan intervalos de tiempo que entran dentro de una buena elección del disparo: de 4 a 8 s. (Staniszewsky, C., Navío Miguel).

En la figura 3 podemos observar la variación de la posición del centro de presión con respecto al tiempo.

En cuanto a cada disparo, se observa una buena estabilidad en la dirección del disparo (dir Y). Sin embargo existen mayores oscilaciones en la dirección perpendicular al disparo (dir X). En cuanto a la repetibilidad de la posición ambos conjuntos de gráficas poseen dispersiones parecidas, si bien en la dirección Y existen 3 disparos muy similares. Quizás se debería realizar cambios en la posición de los pies para conseguir una mayor estabilización en la dir. X.

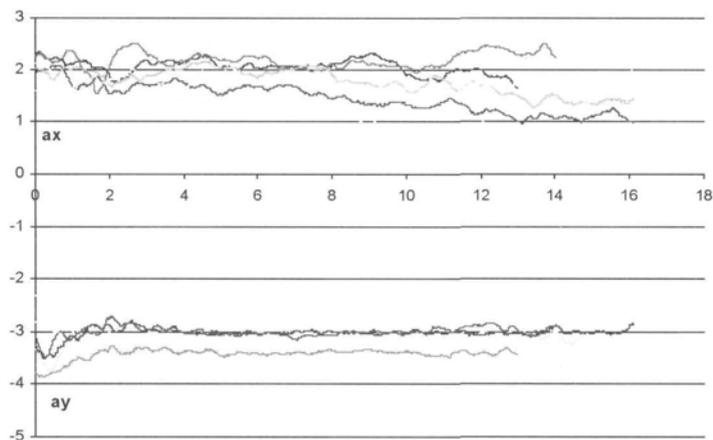


Figura 3. Gráfica que representa la variación del centro de presión en función del tiempo de una serie de 5 disparos. Distancias en cm, tiempo en s.

Pistola de velocidad

En este caso no fue posible la sincronización del V-scope con la filmación en video. A pesar de este inconveniente, los datos son todavía aprovechables ya que hay un marcado movimiento de la cabeza cada vez que se bajaba el arma. En la tabla 2 se observa la distribución temporal de un duelo.

Tabla 2. Resultados temporales de una serie. Tsubi: Instante en el cual comienza el movimiento. Tinicio: Primer instante en que la pistola está estable. Tdisp. T en el cual se produce el disparo. Tfinal: T en el cual la pistola cambia de posición

N	Tsubi	Tinicio	Tdisp.	Tfinal
1	7.30	9.06		10.36
2	17.28	18.66		20.60
3	27.32	28.62		30.28
4	37.44	38.70		40.50
5	47.28	48.66		50.32

En esta prueba, el entrenador activaba el sistema. Pasaban 7 segundos antes de que los blancos fueran visibles. Permanecían en esta situación 3 s, al cabo de los cuales volvía a ser ocultos durante otros 7 s. El proceso se repetía 5 veces.

No existe disparo ya que la pistola utilizada es del 22 y no era posible disparar en aquellos momentos.

En las figuras 4, 5 y 6 se puede observar el movimiento de la cabeza con respecto al tiempo cada uno de los ejes.

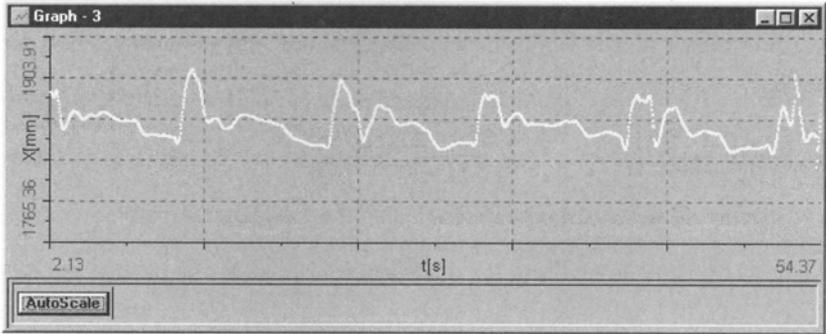


Figura 4. Movimiento de la cabeza en función del tiempo. Eje X.

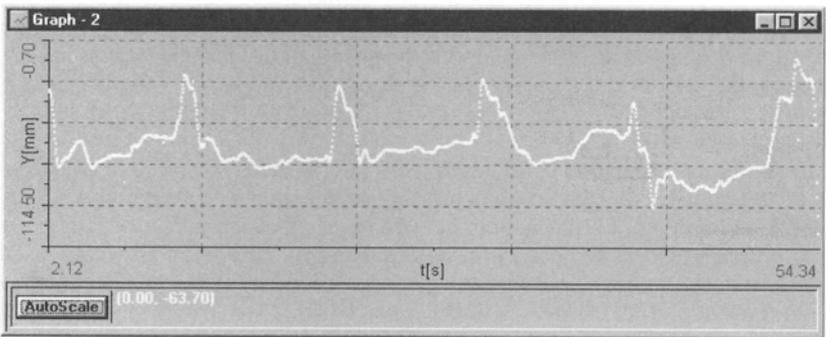


Figura 5. Movimiento de la cabeza en función del tiempo. Eje Y.

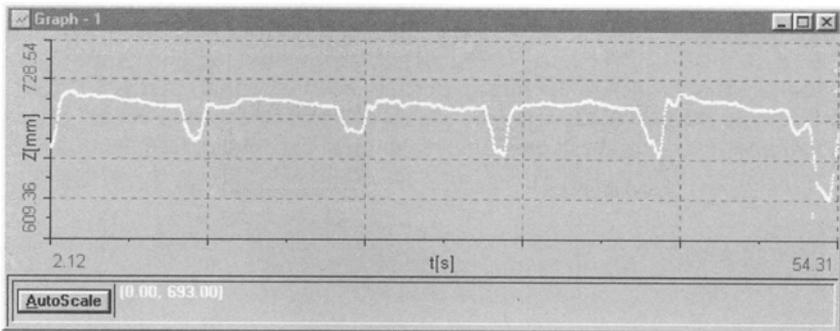


Figura 6. Movimiento de la cabeza en función del tiempo. Eje Z.

Estos resultados son difíciles de interpretar debido a la falta de sincronismo con la filmación. Sin embargo nos muestran el patrón del desplazamiento de la cabeza en el momento de la ejecución de la prueba.

CONCLUSIONES

La valoración de este primer prototipo de análisis ha sido muy positiva, ya que supone un gran avance sobre los tests realizados en el CAR de Sierra Nevada en este campo. El poder disponer de sistemas de alta tecnología nos permite adquirir variables que antes estaban fuera de nuestro alcance. Esto nos va a permitir poder ofrecer en un futuro muy cercano un servicio de alta calidad a los equipos que hagan uso de nuestras instalaciones.

Con la realización de estos test, se cubren dos apartados importantes en el análisis de deportes de precisión: Análisis temporal y estabilidad. La inclusión de un sistema de electro-miografía nos permitiría abarcar otro apartado esencial para el estudio de este deporte.

Los test propuestos permiten valorar si la administración del tiempo de competición ha sido realizada adecuadamente, mediante el análisis temporal de las fases del disparo.

Quizás uno de los puntos que más nos interesa conocer es la opinión de los entrenadores sobre los datos ofrecidos. Si la valoración de este trabajo por parte del entrenador no es positiva, habrá que empezar a plantearse otros sistemas de análisis totalmente diferentes. Sin embargo, las experiencias anteriores, no dicen que la línea de trabajo hasta ahora es la correcta.

A partir de los datos obtenidos sería interesante utilizar la teoría "random walks" (J. J. Collins, C. J. De Luca, 1993), tanto para el análisis de la estabilidad como para el movimiento de la cabeza en el duelo. El movimiento del centro de precisión es caótico, pero puede ser estudiado en profundidad como un proceso estocástico. Aplicando esta teoría, se podría cuantificar la estabilidad de un sujeto a través de los coeficientes de difusión del movimiento Browniano realizado (J. J. Collins, C. J. De Luca, 1995).

BIBLIOGRAFÍA

- STANISZEWSKY, C. y NAVIO, M. Apuntes sobre Coordinación y Técnica de precisión.
- COLLINS, J. J. y DE LUCA, C. J. (1995). Upright, correlated random walks: A statistical-biomechanics approach to the human postural control system. *Chaos* 5 (1).
- COLLINS, J. J. y DE LUCA, C. J. (1993). Open-loop and closed-loop control of posture: A random analysis of center of pressure trajectories. *Exp. Brain. Res.* 95:308-318.

NORMAS DE PRESENTACION PARA LA ADMISION DE TRABAJOS DE INVESTIGACION¹

1. Los trabajos breves o sumarios de investigación que se presenten para su eventual publicación por el Consejo Superior de Deportes (C.S.D.) deberán tener una extensión de 30 a 40 páginas (DIN-A-4, espaciado interlineal 1,5). Se recomienda seguir el esquema general de trabajos de investigación:
 - a) Introducción que exponga los fundamentos del trabajo y especifique claramente sus objetivos.
 - b) Descripción de las fuentes, métodos, materiales y equipos empleados en su realización.
 - c) Exposición de los resultados y discusión de los mismos.
 - d) Conclusiones finales.

Deberá figurar con toda claridad:

- **Título completo del trabajo en castellano y su versión inglesa;** y si se desea, también en francés.
 - **Iniciales del nombre y apellidos de los autores.**
 - **Resúmenes** del contenido, en **castellano** y en **inglés**, y si se desea, también en francés, de un mínimo de 100 y un máximo de 250 palabras, acompañados de las **palabras clave** que definan el contenido del trabajo (6 a 10, preferentemente extraídos del texto del trabajo).
 - **Notas al pie de página o final del texto:** Se acompañarán en anexo al final del texto, debidamente numeradas, indicándose en el texto el lugar al que hace referencia cada nota.
 - **Referencias bibliográficas** de obras citadas en el texto.
 - **Ilustraciones:** Según el tipo de ilustraciones que acompañen el trabajo (tablas, gráficas, fotografías, etc.), deben entregarse en la forma y en el soporte más apropiado para garantizar una óptima reproducción, así como en forma de copia o fotocopia impresa, en anexo al texto, debidamente numerados y acompañados del título o leyenda correspondiente. En el texto se indicará el lugar en el que, en principio, debería insertarse cada ilustración.
2. Indicación de ayudas percibidas por el C.S.D.: se indicarán el tipo y los años de ayuda percibida.
 3. **Datos de los autores.** Los textos que se presenten para su publicación deben ir firmados por sus autores y acompañados de los datos completos de la institución o centro, dirección completa y teléfono de contacto de los mismos. Deberán enviar sus trabajos a la sede del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte (**CARICD**), acompañados de una fotografía del autor y un breve curriculum relacionado con la obra (máximo 10 líneas).
 4. **Soportes de presentación.** El trabajo deberá entregarse en papel DIN-A-4, por duplicado, con espacio interlineal de 1,5, en lengua castellana, y en disquete, grabado en un fichero con procesador de textos para MS-DOS: Word Perfect (v. 5.1), o ASCII, **sin códigos de formato del procesador de texto.**

¹ Extracto de la "Normativa General para la presentación de Trabajos" del Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte (CNID).

5. Los perceptores de ayudas del C.S.D. que presenten sumarios de investigación de acuerdo con los requisitos y condiciones establecidos para su publicación por el Consejo Superior de Deportes (a través del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte) cederán **por escrito** todos los derechos de autor y de reproducción del trabajo en cualquier tipo de soporte (incluidas microformas o bases de datos informatizadas) al C.S.D. y harán constar la aceptación de las presentes normas, haciendo uso del modelo establecido para el efecto.
6. Asimismo los autores asumirán expresamente el compromiso de realizar las modificaciones y correcciones necesarias en el caso de aprobarse la publicación, lo que se comunicará por escrito a los mismos.
7. El C.S.D. se reserva el derecho de publicación de los sumarios presentados, así como de su resumen, en el medio y momento que considere oportunos, en el marco de su programa editorial.
8. El C.S.D. remitirá a los autores cinco ejemplares de la publicación para su libre disposición.
9. En el caso de no publicarse el trabajo o sumario presentado en el plazo de dos años, el autor podrá solicitar del C.S.D. la devolución de los textos y materiales originales, quedando una copia en el CARICD.
10. Tratamiento automatizado de los datos. A los efectos previstos en el artículo 5 de la Ley Orgánica 5/1992, de Regulación del Tratamiento Automatizado de los datos de carácter personal, los datos que se soliciten a los autores de trabajos a publicar por el C.S.D. podrán ser objeto de tratamiento automatizado. La responsabilidad del fichero automatizado corresponde al Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte del Consejo Superior de Deportes.

La admisión-aceptación de estos trabajos no implica obligatoriamente su publicación que, en cualquier caso, se decidirá por la Comisión de Investigación creada al efecto.

El C.S.D. no asumirá necesariamente las opiniones expresadas por los autores en los trabajos y sumarios de investigación que publique.

El Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte no se compromete a publicar trabajos que no reúnan los requisitos y normas marcados, ni su publicación supone que comparta las opiniones en ellos expresadas.

Nota: Estas normas se basan en normas ISO y normas UNE. Puede solicitarse su versión interna ampliada, así como el modelo oficial de cesión de derechos y aceptación de las bases, a:

CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO Y DE
INVESTIGACION EN CIENCIAS DEL DEPORTE
Unidad: Publicaciones
C/ del Greco, s/n
28040 Madrid

Tel.: (91) 589 68 77; 589 05 27/28
Fax: (91) 544 81 22
E-mail: csd.publicaciones@csd.mec.es

Colección: INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL DEPORTE

- 1.- Análisis biomecánico de los lanzamientos en atletismo
- 2.- Adaptación hormonal e inmunológica al entrenamiento
- 3.- Indicadores para la detección de talentos deportivos
- 4.- Estructura ocupacional y mercado de trabajo en el deporte
- 5.- Patrocinio, comunicación y deporte I:
La comercialización del deporte en una sociedad mediática
- 6.- Patrocinio, comunicación y deporte II:
Publicidad y patrocinio en eventos deportivos
- 7.- Los deportistas olímpicos españoles: un perfil sociológico
- 8.- Métodos de estudio de composición corporal en deportistas
- 9.- Valores sociales y deporte
- 10.- Educación Física y práctica docente
- 11.- El deporte en las universidades españolas
- 12.- Análisis biomecánico de las técnicas deportivas
- 13.- Rendimiento deportivo: parámetros electromiográficos (EMG),
cinemáticos y fisiológicos
- 14.- Nuevas perspectivas didácticas y educativas de la educación física
- 15.- Experiencias de formación de docentes y entrenadores en el ámbito
de la actividad física y el deporte
- 16.- Investigación epistemológica: el campo disciplinar en Educación
Física
- 17.- Control del dopaje. Aspectos analíticos de los esteroides anabolizantes
- 18.- Ejercicio y estrés. Aspectos celulares y moleculares
- 19.- Tecnología deportiva. Control del rendimiento de los deportistas
y de las instalaciones
- 20.- Política y violencia en el fútbol
- 21.- Biomecánica de la fuerza muscular y su valoración. Análisis cinético de la
marcha, natación, gimnasia rítmica, badminton y ejercicios de musculación
- 22.- El apoyo biomecánico al rendimiento deportivo. Lanzamiento atlético,
carreras, relevos, natación, tenis y tiro



Consejo
Superior de
Deportes

ISBN 847949096-9



9 788479 490966

EAN 9788479490966