

APLICACIÓN DEL KINESCAN/IBV® AL ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL LANZAMIENTO DE JABALINA. EL CASO DE UN LANZADOR DE CLASE MUNDIAL

Jose Campos Granell

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad de Valencia

LA UNIDAD “RENDIMIENTO FÍSICO Y DEPORTIVO” (UIRFIDE) perteneciente al Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Valencia, a través de la línea de investigación centrada en el análisis biomecánico de las técnicas deportivas, ha estado liderando el desarrollo de proyectos centrados en el estudio del lanzamiento de jabalina desde el año 1995. El último proyecto realizado se llevó a cabo con motivo de los Campeonatos del Mundo de Atletismo celebrados en Sevilla en el mes de agosto de 1999, gracias a un proyecto coordinado y financiado por el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

El artículo presenta la metodología utilizada, así como los resultados más relevantes obtenidos al analizar algunos de los parámetros cinemáticos de la técnica del Campeón Mundial en Sevilla, Ari Parvianen. Para llevar a cabo los procesos de digitalización, representación gráfica y análisis cinemático se utilizó el programa Kinescan/IBV v 8.3.

Application of Kinescan/IBV to kinematical analysis of javelin throwing.

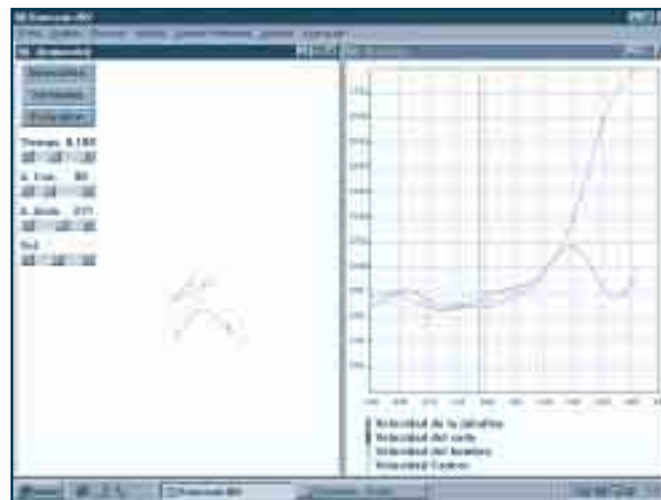
Study of a World Champion thrower.

One of the main lines of the Research Group “Rendimiento Físico y Deportivo” (UIRFIDE) of the Department of Physical Education and Sport of the University of Valencia focuses on the biomechanical analysis of the sport technique, and more specifically, on the technique of javelin throw. From 1995 this group has been leading the studies on the javelin throw in Spain. The latest project was carried out taking advance of the World Championships in Athletics Sevilla’99, with support of the Spanish National Plan for Research and Technological Development.

This article presents some methodological and practical questions dealing with the Kinematical Analysis of the World Champion, Ari Parvianen. “Kinescan/IBV v 8.3” (Institute of Biomechanics of Valencia) software was used for digitizing and kinematical analysis process.

INTRODUCCIÓN

El lanzamiento de jabalina constituye una especialidad atlética perteneciente al grupo de concursos que está catalogada como una habilidad cerrada de carácter acíclico. Esta especialidad se diferencia del resto de disciplinas de lanzamientos por su elevada velocidad de ejecución. En un tiempo que oscila entre los 100 y 130 ms, los lanzadores de élite son capaces de acelerar la jabalina hasta alcanzar unas velocidades de despegue superiores a los 30 m/s. El patrón de movimiento empleado está basado en una acción secuencial caracterizada por el hecho de que los puntos más alejados de la jabalina alcanzan su máximo pico de velocidad antes que los más próximos a ella. El modelo *ideal* y *teórico* plantea como objetivo central el de conseguir la mayor velocidad posible del punto más distal del sistema en el instante de la proyección de la jabalina. La velocidad de despegue de la jabalina se reconoce como un factor decisivo para conseguir altos rendimientos. De hecho, numerosos autores han demostrado que existe una relación altamente significativa entre ambos (Menzel, 1986; Best *et al.* 1993; Mero *et al.*, 1994; Bartlett, 1996).



Como parte del desarrollo del proyecto de referencia R-AE-310599-CTI99-1255-E: *Análisis biomecánico de los lanzamientos y pruebas de velocidad del Campeonato del Mundo de Atletismo Sevilla'99*, financiado por el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, se filmaron para su posterior análisis las finales del lanzamiento de jabalina, hombres y mujeres. A continuación se presenta la metodología utilizada en dicho estudio y, a modo de ejemplo, algunos de los resultados obtenidos del análisis cinemático de la técnica del jabalinista finlandés Ari Parvianen correspondiente al lanzamiento de 89.52 m que le dio el título de Campeón del Mundo. De esta forma, se aportan datos que pueden servir de referencia acerca de las magnitudes que pueden alcanzar algunos de los parámetros cinemáticos más significativos para el caso de un atleta de clase mundial.

MATERIAL Y MÉTODOS

La técnica instrumental utilizada es la fotogrametría 3D, basada en la filmación de escenas con 2 cámaras de vídeo SVHS, a una frecuencia de 50 Hz. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de digitalización manual de las imágenes para lo cual se utilizó el programa *Kinescan/IBV v 8.3* desarrollado por el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV). Para ajustar y diferenciar las coordenadas se utilizó el sistema de suavizado GCV (Generalized Cross Validation) con *splines* de 5º orden (Woltring, 1986).

Para la reconstrucción de las imágenes 3D se utilizó un sistema de referencia de 4 x 2 x 2 m situado de forma que cubra el espacio donde se mueven los atletas. El modelo de análisis utilizado para este estudio estuvo formado por 24 puntos: 22 correspondientes al cuerpo humano y 2 a la jabalina.

A partir de las coordenadas suavizadas de la posición de los marcadores que componen el modelo, se definieron las variables que fundamentan la discusión. Dichas variables expresan las posiciones y velocidades de los marcadores para instantes dados y constituyen las claves que orientan la definición del modelo técnico individual del lanzador.

Las coordenadas de la posición y de la velocidad de los

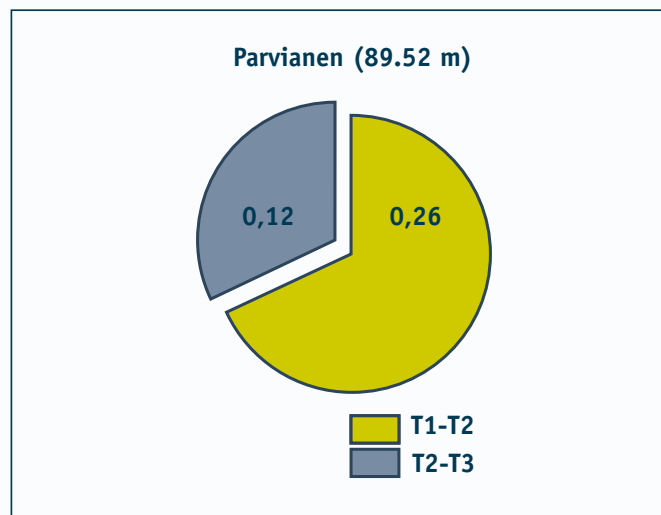


Figura 1. Tiempo de duración de las Fases de lanzamiento.

puntos se expresan respecto a un sistema de referencia que depende del movimiento del atleta, en el que el eje X coincide con la dirección del movimiento lateral del centro de gravedad del sujeto, el eje Z es la vertical y el eje Y el movimiento que sigue la dirección del lanzamiento.

Todas y cada una de las variables se analizan con referencia a los instantes que definen las fases del lanzamiento, t_1 , t_2 , y t_3 , que para el caso de un lanzador diestro suponen:

- t_1 : representa el instante de la llegada del pie derecho al suelo y, por tanto, el inicio de la fase preparatoria.
- t_2 : representa el instante de la llegada del pie izquierdo al suelo y, por tanto, el final de la fase preparatoria y el inicio de la fase final de lanzamiento.
- t_3 : representa el instante del abandono de la jabalina en la acción final de lanzamiento.

Así, la *Fase Preparatoria* queda comprendida por el tiempo transcurrido entre los instantes t_1 y t_2 , y la *Fase Final* por el tiempo transcurrido entre los instantes t_2 y t_3 .

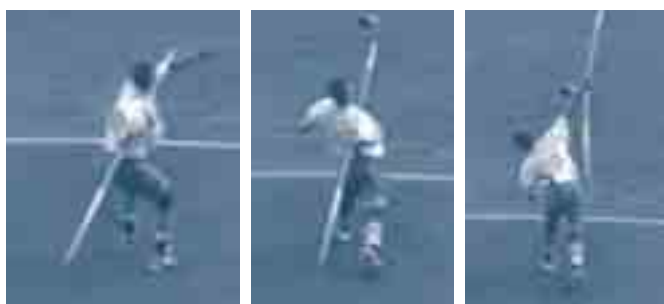


Figura 2. Posiciones adoptadas por el Campeón del Mundo, Ari Parvianen, en los instantes t_1 , t_2 y t_3 respectivamente (visión posterior).

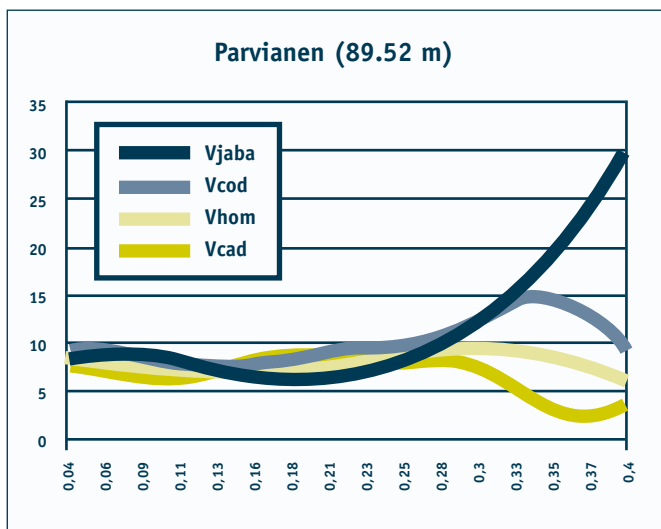


Figura 3. Velocidad de los marcadores Cadera, Hombro, Codo y Jabalina a lo largo de las fases de lanzamiento. Parvianen, Campeón del Mundo en Sevilla '99 (Campos, *et al.* 2000).

Tabla 1: Velocidad de los marcadores Cadera, Hombro, Codo y Jabalina, en cada uno de los instantes de referencia t_1 , t_2 y t_3 .

PARVIANEN (FIN)			
Distancia de lanzamiento (m)	89.52		
	t_1	t_2	t_3
Velocidad de la jabalina (m/s)	8.94	10.20	29.71
Velocidad del Codo (m/s)	8.88	10.81	9.51
Velocidad del Hombro (m/s)	8.35	9.12	5.79
Velocidad de la Cadera (m/s)	7.73	8.63	3.41

Tabla 2: Velocidad máxima de los marcadores Cadera, Hombro, Codo y Jabalina e instantes en los que se consiguen respecto del de Abandono (t_3).

PARVIANEN (FIN)		
Distancia de lanzamiento (m)	89.52	
	Magnitud (m/s)	Instante (t)
Velocidad máxima de la jabalina	29.71	En el abandono
Velocidad máxima del Codo	14.57	0.056 antes del Abandono
Velocidad máxima del Hombro	9.12	0.115 antes del Abandono
Velocidad máxima de la Cadera	8.74	0.124 antes del Abandono

EL MODELO DE UN LANZADOR DE CLASE MUNDIAL. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PARÁMETROS CINEMÁTICOS MÁS RELEVANTES

El atleta Ari Parvianen, de nacionalidad finlandesa, nacido en el año 1974, se proclamó Campeón del Mundo con un mejor lanzamiento de 89.52 m y la serie realizada en la final fue la siguiente: 81,63 – 86,08 – 83,78 – 85,00 – 89,52 – nulo.

Fases temporales en la ejecución. Expresan el tiempo empleado por el atleta en cada una de las subfases que componen la fase final. Esto es: la Fase Preparatoria y la Fase Final.

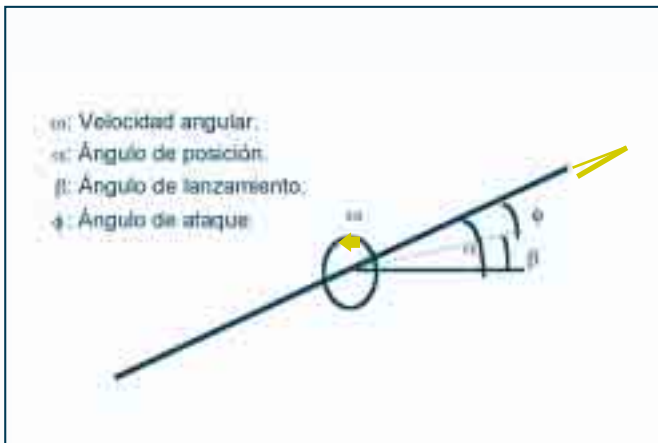
Generalmente, los atletas necesitan de una fase preparatoria más larga con objeto de preparar adecuadamente las acciones finales. Como contrapartida, el tiempo empleado en la fase final suele ser muy corto (entre 100 y 130 ms). Al analizar lanzadores de alto nivel se comprueba que en la fase preparatoria se produce una mayor variabilidad en los tiempos empleados por los atletas, que en la fase final donde los tiempos empleados son muy similares entre lanzadores. Como puede comprobarse, el lanzador Ari Parvianen se caracteriza por la utilización de una fase preparatoria amplia (260 ms) que representa el doble del tiempo empleado en la realización de la fase final (120 ms).

El modelo secuencial del lanzamiento. Análisis de la velocidad conseguida por cada uno de los marcadores de referencia (cadera, hombro, codo, mano y jabalina) en cada uno de los instantes temporales considerados y que expresan el ritmo de la acción de la cadena superior en la fase final de lanzamiento. Esto es, la coordinación intersegmentaria en la acción final de lanzamiento. Como disciplina de tipo balístico, el valor más decisivo para la obtención de rendimiento resulta la velocidad de la jabalina conseguida en el instante de despegue (t_3) (Menzel, 1986).

Las tablas 1 y 2 contienen los resultados obtenidos para algunas de las variables de velocidad más significativas de los que cabe destacar los siguientes aspectos:

→ La velocidad de la jabalina en el instante de despegue es de 29.71 m/s, lo que significa que el atleta es capaz de superar la barrera de los 100 k/h.

→ La consecución de un perfecto sincronismo entre las fases de frenado y aceleración entre los puntos anatómicos representados por los marcadores.



—La utilización de un *timing* “individual” en la acción final del brazo ejecutor en el que se comprueba que el tiempo que transcurre entre la consecución del pico máximo de velocidad del hombro y el abandono (t_3), es justo el doble del que transcurre entre la consecución del pico máximo de velocidad del codo y el instante del abandono (t_3) (0.12 s y 0.06 s respectivamente)

Variables que afectan la fase de vuelo de la jabalina.

- Altura de lanzamiento.
- Componentes X, Y, Z de la velocidad del CDG de la jabalina.
- Ángulo de posición y de lanzamiento de la jabalina.
- Ángulo de ataque de la jabalina.

Los resultados obtenidos establecen unos valores que, desde el punto de vista de su eficacia, se pueden calificar de satisfactorios. Esto es, una altura de lanzamiento de 2.14 m, un ángulo de lanzamiento de 36.6°, y como consecuencia de este último y del ángulo de posición, un ángulo de ataque que resulta negativo de -0.9°. Respecto del ángulo de lanzamiento, se calcula a partir de los valores obtenidos en las componentes vertical y horizontal de la velocidad del CDG de la jabalina en el instante de despegue.

De los datos contenidos en la **tabla 3** se observa que el valor del componente horizontal de la velocidad de la jabalina en el despegue (23.8 m/s) es mayor que el correspondiente al del componente vertical de la misma (17.7 m/s), y que entre uno y otro existe una diferencia de 6.1 m/s. A pesar de que en la literatura no se encuentran referencias acerca de esta relación, lo cierto es que deben mantener un equilibrio dado su papel determinante para la obtención de un ángulo de lanzamiento apropiado, el cual debe oscilar entre los 32° y 36°.

En relación con el ángulo de posición de la jabalina (ángulo formado por el eje longitudinal de la jabalina con la horizontal), se observa que es mayor a medida que transcurre la fase final, lo cual debería entenderse como un factor de inestabilidad en el modelo de ejecución en la fase preparatoria que, en la práctica, no llega a afectar en exceso el instante del abandono. En el instante t_1 es de 23.4°, mientras que en el de despegue (t_3) es de 35.7°.

Tabla 3: Parámetros cinemáticos en el despegue

VARIABLES	PARVIANEN		
	t_1	t_2	t_3
Altura de Lanzamiento (m)			2.14
Componente Horizontal V_y (m/s)			23.8
Componente Vertical V_z (m/s)			17.7
Angulo Altitud o Posición (°)	23.40	33.87	35.7
Angulo de Lanzamiento (°)			36.6
Angulo de Ataque (°)			-0.9

AGRADECIMIENTOS

Quisiera mostrar mi agradecimiento a la Dra. Amelia Ferro Sánchez, directora de la Unidad de Biomecánica del CARICD de Madrid por el apoyo recibido en la prestación de instrumental que nos era necesario, así como al Dr. Marcos Gutiérrez Dávila de la Universidad de Granada, director de los Proyectos Coordinados en los que hemos tenido el honor de participar.

BIBLIOGRAFÍA

ABDEL-AZIZ, Y.I. y KARARA, H.M. (1971) Direct linear transformation from comparator coordinates into objectspace coordinates in close range photogrammetry. En *ASP Symposium on close range photogrammetry*. (Editado por American Society of Photogrammetry.), ASP, Falis Church, 1-18.

BARTLETT, R.M.; MUELLER, E.; LINDINGER, S.; BRUNNER, F.; MORRIS, C. (1996). Three dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill level. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(1), pp- 58-71.

CAMPOS, J.; BRIZUELA, G. (1999). Biomechanical Analysis: throwing and running events. The IAAF World Championship in Athletics, Sevilla'99. <http://cienciadeporte.ugr.es/sevilla99/mundial.htm>

CAMPOS, J.; BRIZUELA, G.; RAMÓN, V. (2000). Evaluación de parámetros biomecánicos del lanzamiento de jabalina en lanzadores de diferente nivel de rendimiento. *Biomecánica*, vol. 8, 1, Diciembre 2000, pp. 15-23.

MENZEL, H.J. (1986). Biomechanics of javelin throwing. *New Studies of Athletics*. IAAF. 3.85-98

MERO, A.; KOMI, P.V.; KORJUS, T.; NAVARRO, E.; GREGOR, R.J. (1994). Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomechanics*. 1994; 10(2), 166-177. Champaign, -Ill.

MORRIS, C.; BARTLETT, R. (1996). Biomechanical factors critical for performance in the men's Javelin throw. *Sports Medicine* 1996. 21(6), 438-446. Auckland, N.Z.

RAMÓN, V.; CAMPOS, J.; BRIZUELA, G. (1997). Análisis de la variabilidad de los parámetros cinemáticos en el modelo individual del lanzamiento de jabalina. En Aguado, X. (Ed) *Biomecánica aplicada al Deporte I*, Universidad de León, León.

WOLTRING, H.J. (1986) A Fortran package for generalized, cross validatory spline smoothing and differentiation. *Adv. Eng. Software*. 6(2), 104-113.