

## ANÁLISIS DE LA SECUENCIA DE PARTICIPACIÓN SEGMENTARIA EN EL MOVIMIENTO FINAL DEL LANZAMIENTO DE PESO EN GIRO

Gutiérrez-Dávila, M.<sup>1</sup>; Rojas, J.<sup>1</sup>; Campos, J.<sup>2</sup>

1. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Granada
2. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Valencia

---

### RESUMEN

El objetivo general de este estudio es realizar un análisis descriptivo del patrón general de la participación segmentaria durante la fase de aceleración final del lanzamiento de peso en giro. Para ello, se han analizado a seis lanzadores de peso finalistas en el Campeonato del Mundo de Atletismo de Pista Cubierta, celebrado en Valencia, 2008. Se han utilizado técnicas fotogramétricas tridimensionales (3D) a partir de la filmación del gesto con dos cámaras de video sincronizadas temporalmente a 100 Hz. Considerando que el tiempo empleado durante el movimiento final de aceleración del peso es diferente para cada lanzador, los registros se han normalizado en función del tiempo utilizando los algoritmos de splines de quinto grado e interpolándose posteriormente sus valores con respecto al porcentaje del tiempo total. Los resultados ponen de manifiesto que la cadena cinética utilizada durante el movimiento final de aceleración del peso tiene dos modelos diferenciados: Hasta el 60% del tiempo total se produce un modelo de empuje o de participación simultánea de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera en extensión y, a continuación, el modelo de participación es secuencial, especialmente mediante la contribución de la extensión del codo y muñeca. El movimiento de rotación a través del eje vertical se mantiene hasta el despegue del peso.

**Palabras clave:** cadena cinética, biomecánica, fotogrametría 3D.

### ABSTRACT

The general objective of this study is to carry out a descriptive analysis of the general pattern of the segmental participation during the phase of final acceleration of the rotational shot. Six elite putters have been analyzed in the final of the World Indoor Championship held in Valencia, 2008. Three dimensional photogrammetric techniques (3D) have been used by means of two cameras synchronized temporarily to 100 Hz. The registrations have been normalized in function of the time using the algorithms of splines of fifth grade and being interpolated their values with regard to the percentage of the total time, considering that the time used during the final movement of acceleration of the weight is different for each putter. The results show that the kinetic chain used during the final movement of acceleration of the put has two differentiated models: Until 60% of the total time a push model takes place or of simultaneous participation of the articulations of the ankle, the knee and the hip in extension and, next, the participation pattern is sequential, especially by means of the contribution of the extension of the elbow and wrist. The rotation movement through the vertical axis stays until the take off of the put.

**Key words:** kinetic chain, biomechanics, 3D photogrammetric.

---

Correspondencia:

Marcos Gutiérrez-Dávila

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de Granada

Carretera de Alfacar s/n C. P. 18011

marcosgd@ugr.es

*Fecha de recepción:* 14/02/2009

*Fecha de aceptación:* 11/05/2009

## INTRODUCCIÓN

La descripción temporal de cualquier lanzamiento atlético podría simplificarse teniendo en cuenta sólo dos periodos: a) un desplazamiento inicial del lanzador más el artefacto (sistema) y b) el movimiento de aceleración final del artefacto. La peculiaridad del lanzamiento de peso reside en la dificultad que entraña realizar el desplazamiento inicial en un espacio muy reducido con respecto a las medidas antropométricas de los lanzadores (Luhtanen, Blomquist y Vanttinen, 1997). Para resolver ese desplazamiento inicial, el lanzador suele utilizar dos técnicas diferentes: a) la convencional, denominada también de deslizamiento o b) la técnica de rotación. Con diferencias notables, el objetivo de estas dos técnicas es llegar al movimiento de aceleración final en las condiciones cinemáticas, dinámicas y musculares más adecuadas para conseguir un nivel óptimo de los factores que contribuyen al alcance del artefacto. Dichas características hacen de este concurso una prueba donde la ejecución técnica, junto a los parámetros morfológicos y una adecuada aplicación de fuerzas, constituyen los factores esenciales para obtener las condiciones óptimas de despegue del peso de la mano del lanzador.

Tras el despegue, el peso se comporta similar a un proyectil, cuya trayectoria estará determinada por tres factores: a) la velocidad tangencial, b) la altura de despegue y c) el ángulo de lanzamiento. Además de estos tres factores, cuando se pretende determinar el alcance del lanzamiento, es necesario considerar la distancia horizontal de despegue del peso con respecto a la medición en círculo de lanzamiento, así como el efecto que puedan producir las resistencias aerodinámicas. Según las aportaciones de Bartonietz (1994), Luhtanen et al (1997), Lanka, (2000) y Zatsiorsky (1990), la velocidad tangencial de despegue constituye el factor más determinante para el alcance de lanzamiento, aunque analizar los factores que condicionan su valor es una tarea compleja que implica a la propia técnica utilizada durante el movimiento final de aceleración del peso, debiéndose realizar mediante una interacción óptima en la secuencia temporal de participación segmentaria (Linthorne, 2001; Coh, Supej, y Stuhec, 2007). La altura de despegue está condicionada por los parámetros antropométricos del lanzador (especialmente la talla y la longitud de brazo), la posición del CG en el instante de despegue, el ángulo del brazo con respecto a la horizontal y la técnica utilizada en el movimiento final de aceleración (Coh et al., 2007).

Entre los factores indicados que condicionan la trayectoria del peso, quizás el ángulo de lanzamiento sea el que más controversia ha motivado entre los investigadores. Desde una perspectiva teórica, Lichtengerg y Wills (1978) determinaron que el ángulo óptimo de lanzamiento debería ser alrededor de 42° para lanzamientos de elite mundial. Pero realmente los ángulos de lanzamiento alcanzados por la mayoría de los lanzadores de elite han sido inferiores a este valor (Bartonietz y Borgström,

1995; Tsirakoss et al., 1995; Luhtanen et al., 1997). En este sentido, Zatsiorsky (1990) y Linthorne (2001) han explicado este hecho debido a la acción de la gravedad sobre la componente vertical de la aceleración, así como a ciertas consideraciones relacionadas con la estructura y contribución muscular en el movimiento final del lanzamiento. De forma experimental, Hubbard, Mestre y Scott, (2001) han puesto de manifiesto que la velocidad tangencial en el despegue disminuye al aumentar el ángulo de lanzamiento en alrededor de 1.7(m/s)/rad. En este mismo estudio también se ha comprobado como la velocidad tangencial disminuye al aumentar la altura de despegue en alrededor de 0.8(m/s)/m. Los estudios precedentes ponen de manifiesto la existencia de una estrecha relación entre los diferentes factores que determinan la trayectoria aérea del peso, considerando, así mismo, que las condiciones óptimas de relación entre estos factores esta estrechamente relacionada por la secuencia temporal de participación segmentaria durante la fase final de aceleración del peso.

En los lanzamientos con la técnica de rotación, el movimiento de aceleración final ha sido descrito por diversos autores (Zatsiorsky, 1990; Goss-Sampson y Chapman, 2003; Coh, Supej y Stuhec, 2007), poniéndose de relieve la importancia que adquiere la elevación vertical del peso durante el periodo final de esta fase, así como los movimientos de rotación de los ejes de los hombros y las caderas para producir el cambio de velocidad tangencial del peso. Para Linthorne (2001), el lanzador ejerce fuerza contra el peso mediante una secuencia temporal de participación segmentaria que comienza con una extensión rápida las piernas, acompañada de una extensión y rotación del tronco y seguida de una rápida elevación mediante la extensión del codo hacia la dirección de lanzamiento. Para conseguir una adecuada secuencia de participación segmentaria durante el movimiento final de aceleración del peso es necesario comenzar con una cierta flexión y torsión del tronco, lo que está condicionado por el complejo movimiento inicial de rotación, donde el largo periodo de rotación sobre un solo apoyo se considera como uno de los factores más críticos de este estilo de lanzamiento. Pero quizás una de las cuestiones más polémicas sea el bloqueo final del eje de las caderas y el movimiento final de rotación del eje de los hombros, considerándose que el movimiento de rotación del tronco debería mantenerse durante toda la fase final, evitando su bloqueo.

El objetivo general de este estudio es realizar un análisis descriptivo del patrón general de la participación segmentaria durante la fase de aceleración final del lanzamiento de peso. Además de la secuencia temporal de los movimientos segmentarios descritos en investigaciones precedentes, se pretende analizar la contribución del movimiento de elevación del eje de los hombros, considerándolo como un segmento más que podría contribuir decisivamente a la cadena cinética del movimiento final de aceleración del peso. En general, consideramos que el estudio de los patrones de movi-

miento, mediante el análisis de la tendencia central de la secuencia temporal de la cadena cinética utilizada por los mejores lanzadores de peso, podría constituir una información de relevancia para los entrenadores y un referente para las futuras investigaciones, especialmente debido a las novedosas técnicas utilizadas para su análisis temporal.

#### MÉTODO

Se han analizado a seis lanzadores de peso de máximo nivel internacional y finalistas en el Campeonato del Mundo de Atletismo de Pista Cubierta, celebrado en Valencia, 2008 (N=6). Se registraron los seis lanzamientos de cada uno de los lanzadores, analizándose posteriormente el lanzamiento válido de mayor alcance para cada uno de ellos. En la tabla 1 se presenta los datos más relevantes de los lanzadores analizados, donde, además del país, talla y masa de los lanzadores, se presentan la distancias alcanzadas en los lanzamientos analizados (Marca Val08), así como la mejor marca obtenida durante la temporada 2007/08 (Marca 07-08).

TABLA 1  
Lanzadores analizados en este estudio

<i>Lanzador</i>	<i>País</i>	<i>Talla (m)</i>	<i>Masa (Kg)</i>	<i>Marca Val08 (m)</i>	<i>Marca 07-08 (m)</i>
<b>Cantwell</b>	USA	1.98	145	21.77	22.18
<b>Hoffa</b>	USA	1.83	118	21.20	21.40
<b>Smith</b>	NED	1.97	125	20.78	20.89
<b>Scott</b>	JAM	1.85	105	20.29	20.36
<b>Martin</b>	AUS	1.90	130	20.13	20.13
<b>Sack</b>	GER	1.90	125	20.05	20.88

Para el registro y análisis de los datos, se han utilizado técnicas fotogramétricas tridimensionales (3D) a partir de la filmación del gesto con dos cámaras de video de alta velocidad (Redlake MotionSpace PCI 1000S – Redlake Corporation, San Diego, CA) a 100 Hz y sincronizadas temporalmente mediante un sistema electrónico. Para el cálculo del CG del lanzador se han utilizado las masas segmentarias y localizaciones de su c.m., propuestas por Zatsiorsky y Seluyanov (1985) y adaptadas por Leva (1996). Después de obtener las coordenadas planas de los 21 puntos que determinan los catorce segmentos del cuerpo más el que corresponde al centro de masa del peso, se realizó un ajuste de dichas coordenadas mediante splines de quinto grado (Wood y Jennings, 1979). Finalmente, se utilizaron las técnicas de DLT, desarrolladas por Abdel-Asiz y Karara (1971), para obtener las coordenadas espaciales con respecto a un sistema de referencia donde el eje Z corresponde al vertical, el Y al horizontal

con sentido a la dirección teórica de lanzamiento y coincidente con la bisectriz del ángulo de lanzamiento y el X que se ha considerado perpendicular a los otros dos.

Siguiendo a Gutiérrez-Dávila, Rojas, Campos, Gámez y Encarnación (2009), para el análisis temporal del movimiento final de aceleración del peso se han considerado tres fases: B1) Fase de apoyo doble: comienza con el contacto del pie izquierdo (para lanzadores diestros) en el suelo o en el contenedor (T1) y finaliza con el despegue o deslizamiento por la superficie de uno de los dos apoyos (T2). B2) Apoyo simple: finaliza con el despegue del segundo apoyo, en caso de que exista (T2) y B3) Fase aérea: finaliza en el instante del despegue del peso de la mano del lanzador (T3). En algunos casos las dos últimas fases no se producen o suceden después de la suelta, por lo que el lanzamiento finaliza en apoyo doble y simple.

Para el cálculo de la velocidad tangencial de salida del peso, se ha utilizado la velocidad tangencial media entre la obtenida en el instante del despegue del peso de la mano del lanzador (T3) y la obtenida a 0.01 s posterior a ese instante (T4). El ángulo de salida del peso se ha calculado a partir del producto escalar entre el vector desplazamiento del peso tras el despegue, definido por las posiciones en los instantes T3 y T4 y su proyección en el plano transversal (X, Y). Las posiciones angulares de los ejes de las caderas y los hombros en los instantes T1 y T3 se han calculado utilizando el producto escalar de la proyección, en el plano transversal (X, Y), de los vectores que definen los ejes de los hombros y las caderas, respectivamente y el vector definido por la bisectriz del ángulo de lanzamiento. El valor absoluto de la diferencia de entre los ángulos del eje de los hombros y las caderas en T1 y T3 nos proporciona el ángulo de torsión del tronco para cada posición. En la figura 1 se expone una representación gráfica sobre los valores angulares, así como el criterio de cuantificación utilizado a partir de la bisectriz del ángulo que define la zona de lanzamiento.

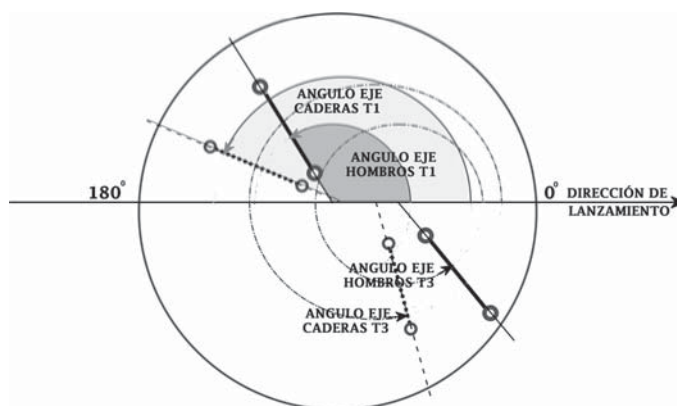


FIGURA 1. Representación gráfica de los valores angulares con respecto a la bisectriz del ángulo de la zona de lanzamiento.

Para el estudio de la tendencia central de la cadena cinética se han calculado las velocidades angulares de las articulaciones del tobillo, la rodilla, la cadera, el hombro, el codo y la muñeca del lado dominante, además de las velocidades angulares de los ejes de las caderas y de los hombros, tanto en el plano transversal como en el determinado por sus respectivos vectores y correspondientes proyecciones en el plano transversal (X,Y). Para el cálculo de la posición angular de las articulaciones referidas, en cada instante, se ha utilizado el producto vectorial de los vectores definidos por los segmentos contiguos, para cada articulación. Finalmente, la velocidad angular fue determinada utilizando la primera derivada de las funciones splines de quinto grado correspondiente, con respecto al tiempo. Para el cálculo de la velocidad angular de los ejes de las caderas y los hombros a través del eje vertical se ha utilizado el producto vectorial entre el vector proyectado en el plano transversal (X, Y) y el definido por la bisectriz del ángulo de la zona de lanzamiento (figura 1), a continuación se determinó la primera derivada de la función splines de quinto grado con respecto al tiempo. Para el cálculo de las posiciones angulares del eje de las cadera y los hombros en el plano definido por sus vectores y las correspondientes proyecciones en el plano transversal (X,Y) (determina la inclinación lateral del tronco) se ha utilizado el producto escalar entre el vector definido por los hombros y su proyección en el plano transversal (X, Y). Determinadas las posiciones angulares referidas, la velocidad angular correspondiente se determinó utilizando la primera derivada de la función splines de quinto grado, con respecto al tiempo.

Considerando que el tiempo empleado durante el movimiento final de aceleración del peso es diferente para cada lanzador, las velocidades angulares referidas en el párrafo anterior, se han normalizado en función del tiempo. Para ello se han determinado sus funciones, con respecto al tiempo, mediante los algoritmos de splines de quinto grado e interpolándose posteriormente sus valores con respecto al porcentaje del tiempo total. Mediante este procedimiento se ha podido determinar el mismo número de datos para cada lanzador en el movimiento final de aceleración del peso, lo que nos ha permitido aplicar a esos datos una estadística de tendencia central, utilizando para ello el paquete estadístico Statgraphics 5.1 de Statistical Graphics Corporation (STCS, Inc. 2115 East Jefferson Street, Rockville, Maryland , 20852. USA).

## RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los valores discretos de tendencia central organizados en tres grupos: a) los referidos a los tiempos empleados durante el movimiento de aceleración final del peso, b) los factores de eficacia más significativos en el instante de contacto del pie izquierdo (para lanzadores diestros) en el suelo o en el contenedor (T1), considerado éste como el instante en que se inicia el movimiento de acele-

ración final del peso y c) los factores de eficacia descritos para el instante de despegue del peso de la mano del lanzador (T3). Con respecto al análisis temporal, es necesario destacar la existencia de una cierta variabilidad en el tiempo empleado durante el movimiento final de aceleración ( $M=0.218$  s;  $SD=0.031$  s). Los tiempos varían entre los 0.28 s de Scott (6° clasificado con 20.29 m) y los 0.18 s que utiliza Martin (7° clasificado con 20.13 m), lo que confirma la necesidad de utilizar técnicas de normalización temporal para poder obtener funciones de tendencia central con respecto al tiempo.

TABLA 2  
Factores cinemáticos de tendencia central para los lanzamientos analizados

FACTORES DE EFICACIA		M	SD
a) Temporales	T. movimiento aceleración (s)	0.218	0.031
	T. apoyo doble (s)	0.175	0.016
	T. apoyo simple (s)	0.015	0.013
	T. fase aérea (s)	0.028	0.022
b) Inicio movimiento (T1)	Vel. tangencial peso ( $ms^{-1}$ )	1.75	0.51
	Altura del CG (m)	0.93	0.03
	Altura del peso (m)	1.30	0.06
	Ángulo eje caderas (°)	150	12
	Ángulo eje hombros (°)	105	17
	Velocidad angular eje caderas ( $rads^{-1}$ )	8.66	4.56
	Velocidad angular eje hombros ( $rads^{-1}$ )	9.93	3.84
c) Despegue peso (T3)	Velocidad tangencial peso ( $ms^{-1}$ )	13.65	0.31
	Ángulo salida peso (°)	37	2
	Altura salida peso (m)	2.14	0.04
	Ángulo eje caderas (°)	278	11
	Ángulo eje hombros (°)	292	9

Según los datos expuestos sobre los factores cinemáticos registrados en el instante de comienzo del movimiento de aceleración del peso, no parece que, la velocidad tangencial del peso en el instante T1 ( $M=1.75$   $ms^{-1}$ ;  $SD=0.51$   $ms^{-1}$ ), sea un factor que condicione, por sí solo, la velocidad final del peso. En este sentido, los valores más reducidos los obtienen Cantwell y Hoffa (1.18  $ms^{-1}$  y 1.11  $ms^{-1}$ , respectivamente), siendo los que alcanzan mayores velocidades tangenciales en el despegue del peso. Podríamos pensar que el resto de los factores expuestos para el instante T1 podrían condicionar el movimiento de aceleración final del peso, aunque los datos reflejan una cierta estabilidad entre los lanzadores. Posiblemente el registro más crítico, en cuanto a su variabilidad, sea el ángulo del eje de los hombros ( $M=110^\circ$ ;

SD=20°), el cual varía entre los 75° de Scott y los 127° de Martin, lo que provoca una cierta variabilidad en los ángulos de torsión del tronco para T1 (M=42°; SD=14°, respectivamente).

Con respecto a los datos referidos al instante en que despega el peso de la mano del lanzador (T3), es necesario destacar la escasa variabilidad de los datos referidos a los factores de producto (la velocidad tangencial, el ángulo y la altura de salida del peso). Lógicamente, este hecho está estrechamente relacionado con la homogeneidad en el nivel de los lanzadores analizados, siendo todos de máximo nivel internacional y similar alcance en sus mejores lanzamientos. Finalmente, el hecho de que el ángulo medio del eje de las caderas sea inferior a obtenido por el eje de los hombros (M=278°; SD=11° y M=292°; SD=9, respectivamente) pone de manifiesto que el eje de las caderas debe de haber reducido su velocidad angular de rotación a través del eje vertical durante el movimiento final de aceleración, mientras que el eje de los hombros deben de haber mantenido su movimiento de rotación hasta el despegue del peso de la mano del lanzador.

En la figura 2 se representa la velocidad tangencial resultante (XYZ) del peso durante la fase final de lanzamiento, así como su vector proyectado en el plano transversal (resultante XY) y la componente vertical (Z). Como cabría esperar, la resultante de la velocidad tangencial del peso se incrementa a lo largo del tiempo desde valores algo inferiores a 2 ms<sup>-1</sup>. Esta misma situación sucede con el vector proyectado en el plano transversal (resultante XY). Por el contrario, la componente vertical parte de valores próximos a cero y se incrementa progresivamente hasta el 80% del tiempo total, a partir del cual su valor se mantiene constante, hecho que provocará que el ángulo de proyección del peso no siga incrementando su valor.

Como se ha referido en el apartado dedicado al método, para el análisis de la secuencia temporal de participación segmentaria, se han registrado los valores de tendencia central referidos a velocidades angulares de las articulaciones más relevantes involucradas en la cadena cinética, así como a las referidas a los ejes de las caderas y los hombros, con respecto al porcentaje del tiempo total. Comenzaremos presentando los registros referidos a las articulaciones, para después exponer la contribución de los movimientos de rotación y elevación, tanto de las caderas como de los hombros.

Así, en la Figura 3 se presentan las tendencias centrales de las velocidades angulares de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera derecha. Se puede observar como los registros de la velocidad angular media de las tres articulaciones representadas mantienen un comportamiento similar hasta el 85% del tiempo total, incrementando su valor hasta llegar a su máximo registro en el 60% del tiempo total, considerándose una participación segmentaria de forma simultánea, similar a lo que ocurre en las cadenas cinéticas de empuje, característica de los movimientos que se



realizan cuando se requiere precisión o cuando el último segmento se opone a una resistencia importante.

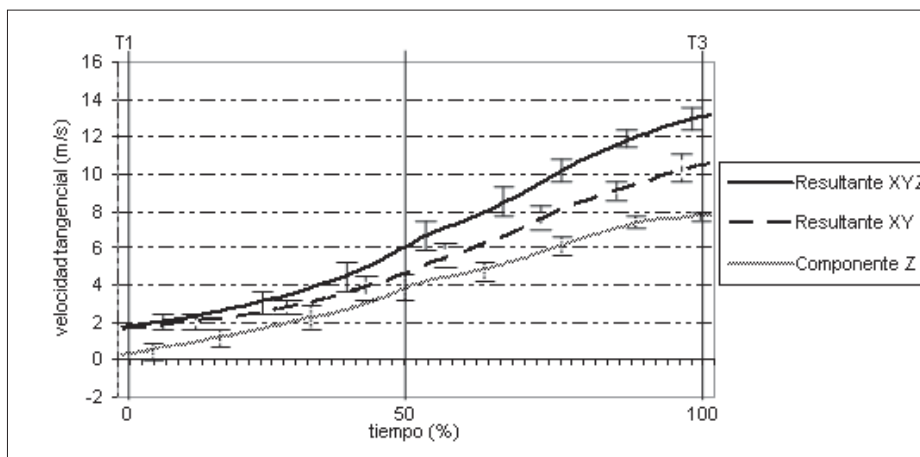


FIGURA 2. Representación gráfica de la velocidad tangencial resultante del peso durante el movimiento de su aceleración (Resultante XYZ), el vector resultante proyectado en el plano transversal (Resultante XY) y la componente vertical (Componente Y).

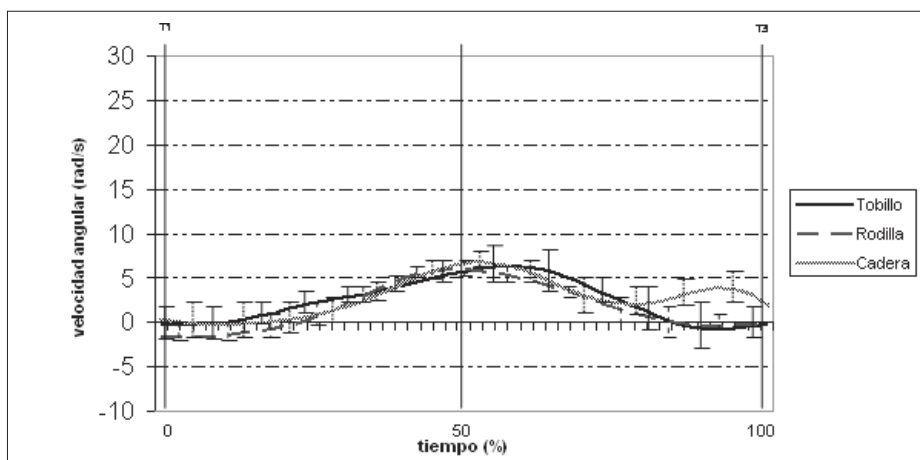


FIGURA 3. Velocidades angulares medias de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera del lado dominante, con respecto al porcentaje total del tiempo.

En la figura 4 se presentan los registros correspondientes a las velocidades angulares medias de a las articulaciones del hombro, el codo y la mano. Al contrario del comportamiento de las velocidades del tobillo, la rodilla y la cadera, su registro es similar a lo que ocurre en las cadenas cinéticas secuenciales, características de los lanzamientos de velocidad o cuando el último segmento está libre. Así, la articula-

ción del codo comienza su extensión cuando las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera, alcanza su máximo registro (60% del máximo). Durante el tiempo en que la articulación del codo está extendiéndose, el segmento contiguo (mano-peso) retrocede, manteniendo una tendencia hacia la hiperextensión de la articulación de la muñeca (entre el 50-80% del máximo), para comenzar una rápida flexión en un tiempo cercano en que la articulación del codo adquiere su máximo registro (85% del máximo). Es necesario destacar la escasa contribución de la articulación del hombro en su movimiento de flexión o hiperflexión (elevación del peso).

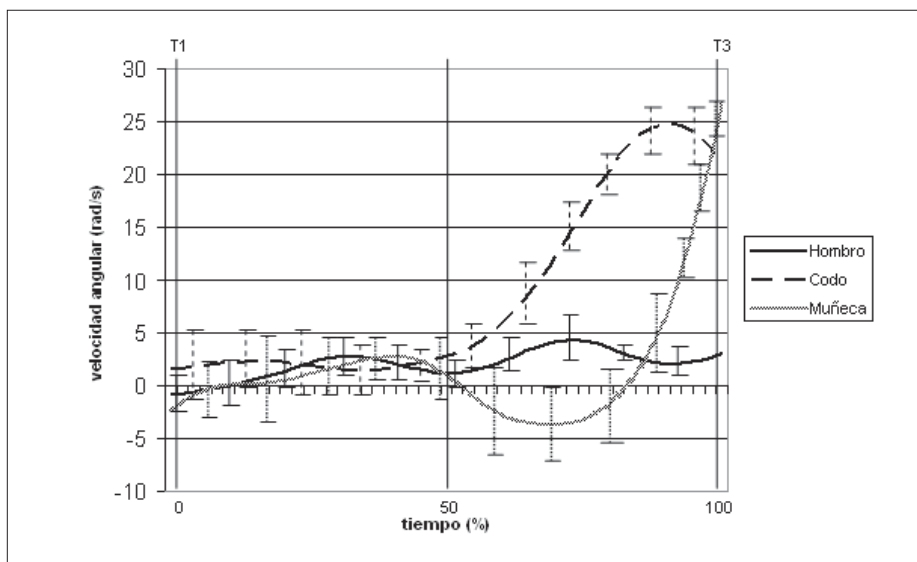


FIGURA 4. Velocidades angulares medias de las articulaciones del hombro, codo y muñeca del lado dominante, con respecto al porcentaje total del tiempo.

En la figura 5 se presentan las velocidades angulares medias correspondientes a los ejes de las caderas y los hombros a través del eje vertical, con respecto al porcentaje de tiempo total. Los dos registros ponen de manifiesto que, cuando se inicia el movimiento de aceleración final del peso (T1), tanto el eje de las caderas, como el de los hombros, ya mantienen una cierta velocidad angular a través del eje vertical (entre 8.66 y 9.93 rad-1, respectivamente –tabla 2). El eje de las caderas incrementa su velocidad angular hasta el 32% del tiempo total. A partir de este instante, comienza a reducir su velocidad angular hasta el 60% del tiempo total, aunque sin llegar a frenar del todo su velocidad angular. A partir de este tiempo, de nuevo comienza a incrementar su velocidad angular. Esta inflexión en su comportamiento coincide con la máxima velocidad angular de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera. El comportamiento de la velocidad angular del eje de los hombros a través del eje

vertical tiende a incrementarse hasta el 45% del porcentaje del tiempo total, a partir del cual tiende a mantenerse su velocidad angular media hasta la suelta del peso.

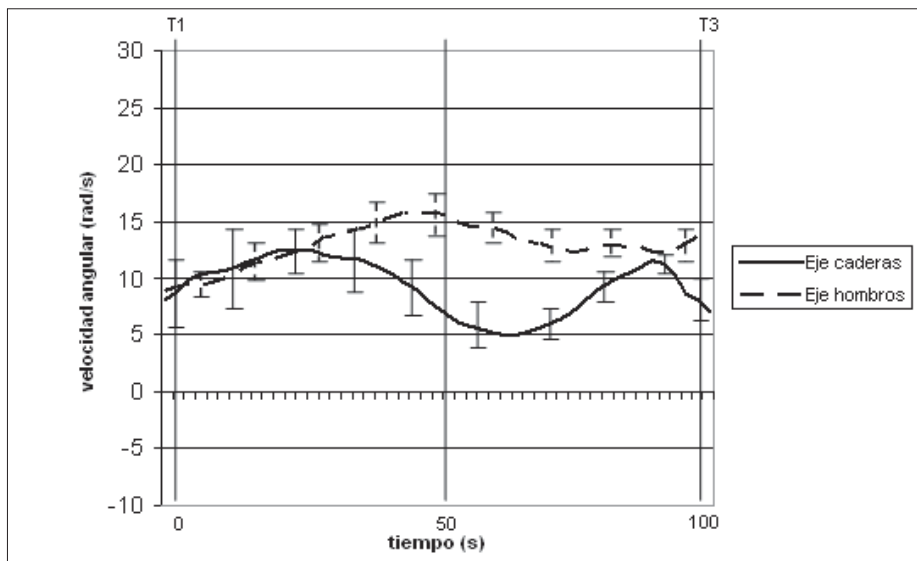


FIGURA 5. Velocidades angulares medias de los ejes de las caderas y los hombros a través del eje vertical, con respecto al porcentaje total del tiempo.

Finalmente, en la figura 6 se presentan las gráficas de las velocidades angulares referidas al movimiento de rotación a través de un eje que es perpendicular al plano definido por el eje de las caderas o los hombros, en cada caso, y sus respectivas proyecciones en el plano transversal, con respecto al porcentaje del tiempo total (movimiento de flexión-extensión lateral del tronco). Con respecto a la gráfica relativa a las velocidades angulares medias del eje de las caderas, se aprecia un cierto incremento del registro hasta el 33% del tiempo total, lo que representa una cierta elevación de la cadera derecha (para lanzadores diestros) con respecto a la izquierda. A partir de este tiempo reduce su velocidad angular y se estabiliza a partir del 60% del tiempo total.

Todo lo contrario ocurre con el eje de los hombros, donde hasta el 40% del tiempo total se aprecia un registro medio de la velocidad angular negativo, lo que pone de manifiesto que existe una cierta flexión lateral derecha del tronco de forma simultánea al movimiento de elevación de la cadera derecha (para lanzadores diestros). A partir de ese instante (40% del tiempo total) la velocidad angular se hace positiva e incrementa su registro hasta el 70% del tiempo total, donde comienza a reducir su velocidad angular, aunque sin llegar a obtener de nuevo valores negativos. Se trata de un registro temporal similar en el tiempo a lo que ocurre con los registros de las

articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera, lo que nos permite describir la existencia de una extensión lateral izquierda y/o elevación del hombro derecho a la vez que las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera están incrementando su velocidad angular en extensión. Este conjunto de movimientos segmentarios contribuyen a que se incremente la componente vertical de la velocidad del peso, como se pone de manifiesto en la figura 2.

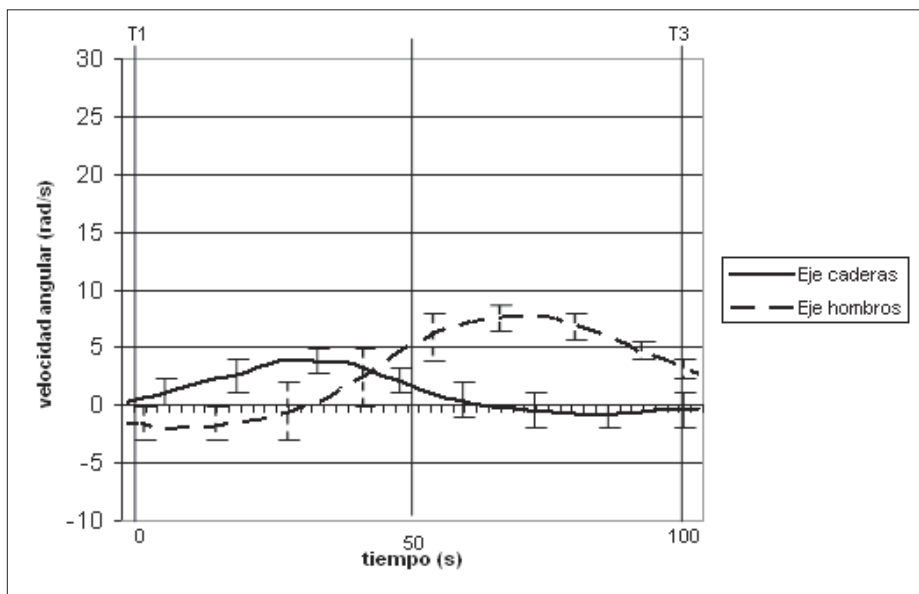


FIGURA 6. Velocidades angulares medias correspondientes a los ejes de las caderas y los hombros a través de un eje perpendicular al plano definido por el eje de las caderas o los hombros, en cada caso, y sus respectivas proyecciones en el plano transversal, con respecto al porcentaje del tiempo total.

#### DISCUSIÓN

El hecho de evaluar los factores de eficacia relativos al instante en que se inicia el movimiento de aceleración final del peso (T1), nos ha permitido comprobar la escasa relevancia que tiene de la velocidad tangencial del peso, la variabilidad en la torsión del tronco y la importancia que adquieren las velocidades angulares de los ejes de las caderas y los hombros, cuando se trata de analizar la secuencia de los movimientos segmentarios durante la aceleración final del peso. Especialmente quisiéramos significar la variabilidad de ciertos datos expuestos en la tabla 2, para T1, lo que pone de manifiesto el cuidado que deberíamos tener al interpretar estudios de tendencia central o de patrones de movimiento, como el que aquí presentamos.

Más estables son los datos presentados en la tabla 2, relativos al instante de la suelta del peso (T3). La escasa variabilidad de los factores que determinan la trayec-

toria aérea del peso (velocidad tangencial, ángulo y altura del peso) tiene su sentido en la homogeneidad de la muestra y alcance de los lanzamientos analizados (entre 21.77 m y 20.05 m), aunque como ponen de manifiesto Hubbard, Mestre y Scott, (2001), estos tres factores mantienen una cierta relación entre ellos, lo que constituye un error hacer su análisis de forma individualizada. Así, cuando se incrementa el ángulo de salida, la velocidad tangencial del peso en la suelta tiende a ser más reducida. En este sentido se ha considerado a la velocidad tangencial del peso el factor más relevante debido a la problemática que existe para acelerar la componente vertical del peso en contra de la gravedad y a ciertos problemas de participación muscular (Zatsiorsky (1990), Linthorne (2001) y Gutiérrez, et al., 2009). El registro medio de la componente vertical, con respecto al porcentaje del tiempo total (figura 2) y la escasa participación de la articulación del hombro en los instantes finales, confirman este hecho. Se comprueba cómo a partir del 80% del tiempo total esta componente no se incrementa, mientras que la componente horizontal (XY) sigue incrementando su velocidad, hecho que es reforzado por la reducción de la velocidad angular media registrada en la articulación del hombro a partir del 80% del tiempo total (figura 4), lo que podría interpretarse como una tendencia a la escasa flexión de la articulación del hombro a partir de un cierto ángulo, lo que reduce la posibilidad de elevar el peso en los instantes finales, posiblemente debido a la mejor predisposición muscular para acelerar el peso hacia delante, y no hacia arriba, como pone de manifiesto Zatsiorsky (1990).

Goss-Sampson y Chapman (2003) sugieren que debería facilitarse la rotación del eje de las caderas durante el movimiento de aceleración final del peso. Esta sugerencia ha creado una cierta controversia entre los que consideran que la pierna izquierda debe bloquear la cadera antes del despegue del peso. Los datos expuestos en la figura 5, ponen de manifiesto que el eje de la cadera, aunque reduce su velocidad de rotación a través del eje vertical, en ningún caso llega a frenarse totalmente. Posiblemente esta reducción de la velocidad angular hasta niveles medios de 5 rads<sup>-1</sup> en el 60% del tiempo total (figura 5) sea la consecuencia de una necesaria estabilidad de la cadera para soportar el incremento simultáneo de las velocidades angulares en extensión de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera, como se pone de manifiesto en la figura 3.

Después de que el pie izquierdo (para lanzadores diestros) toma contacto con el suelo o el contenedor (T1), la velocidad angular de los ejes de las caderas y el hombro a través del eje vertical sigue incrementándose hasta el 32% del tiempo total (figura 5). De forma simultánea se produce una elevación de la cadera derecha con respecto a la cadera izquierda (para lanzadores diestros) y una flexión lateral derecha del tronco (figura 6), ayudada por la acción del brazo izquierdo que tiende a elevar el

hombro correspondiente. Durante este periodo de tiempo (del 0 al 30% del tiempo total), la velocidad angular de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera comienzan a incrementar su registro de forma simultánea, aunque ese incremento no se produce hasta el 13% del tiempo total. El hecho de este retraso en la extensión de las articulaciones mencionadas, debe estar relacionado con la posición del cuerpo del lanzador, el cual suele comenzar su movimiento de aceleración final (T1) de espaldas a la dirección de lanzamiento, por lo que la extensión y empuje de las articulaciones mencionadas debe retrasarse hasta que el lanzador comienza a orientar los ejes de las caderas y los hombros hacia la dirección de lanzamiento.

Entre el 30 % y el 60% del tiempo total, las velocidades angulares medias de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera siguen incrementando su velocidad angular en extensión de forma simultánea, mientras que el eje de los hombros sigue incrementando su velocidad angular media a través del eje vertical orientando al lanzador hacia la dirección de lanzamiento. Por el contrario, la velocidad angular media del eje de las caderas, a través del eje vertical, tiende a reducirse hasta valores cercanos a 5 rads-1. Posiblemente debido a la necesidad de estabilizar la cintura pélvica para soportar las fuerzas comprensivas debidas a la acción extensora de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera. Durante este periodo de tiempo, es necesario destacar la contribución de la extensión lateral izquierda del tronco (figura 6), lo que permite iniciar la elevación del hombro derecho, ayudado por la acción del brazo izquierdo (para lanzadores diestros). Se puede afirmar que hasta este instante (60% del tiempo total), la cadena cinética o secuencia de participación segmentaria utilizada en el lanzamiento de peso es simultánea o de empuje, característica de los modelos utilizados para desplazar una resistencia externa considerable y alejada de las que tienen como objetivo obtener una velocidad tangencial considerable del implemento o segmento final.

A partir del 60% del tiempo total comienzan a reducirse las velocidades angulares de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera, mientras que comienzan a incrementarse las velocidades angulares de las articulaciones del hombro y, especialmente, la del codo en una extensión que llega a sus valores máximos en el 85% del tiempo total, coincidiendo los máximos valores medios registrados con los obtenidos por Coh y Stuhec (2005). La rápida extensión de la articulación del codo, provoca un retroceso en hiperextensión de la mano y el peso, seguido de una rápida flexión coincidente con los valores máximos de extensión de la articulación del codo, lo que se pone de manifiesto por la velocidad angular negativa y rápido incremento posterior representado en la figura 4. Durante este periodo de tiempo, el lanzador continúa su movimiento de rotación a través del eje vertical, ayudado por el incremento de la velocidad angular del eje de las caderas. El tronco continúa su extensión lateral

izquierda, aunque su velocidad angular tiende a reducirse hasta el instante de despegue del peso. Según se desprende de los resultados expuestos, a partir del 60% del tiempo final, se puede afirmar que la cadena cinética utilizada es secuencial, característica de los modelos utilizados para alcanzar una alta velocidad del implemento o del segmento más distal.

#### CONCLUSIONES

La cadena cinética utilizada o secuencia de participación segmentaria durante el movimiento final de aceleración del peso se producen dos modelos diferenciados en el tiempo: a) El movimiento comienza con un modelo de empuje o de participación simultánea de los segmentos y b) continúa con un modelo de participación secuencial de los segmentos, el cual aparece a partir del 60% del tiempo total, cuando la velocidad tangencial del peso ya ha alcanzado valores cercanos a 7 ms<sup>-1</sup>.

La rotación de los ejes de las caderas y los hombros a través del eje vertical se mantiene durante todo el movimiento, aunque la velocidad angular media del eje de las caderas tiende a reducirse entre el 20% y el 60% del tiempo total. Esta reducción podría estar relacionada con la necesidad de estabilizar la cintura pélvica para soportar las fuerzas debidas a la acción extensora de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera, así como a la necesidad de realizar una extensión lateral izquierda del tronco que contribuye decisivamente a la elevación del sistema e incremento de la componente vertical del peso. Se constata que en ningún caso llegan a bloquearse o reducir su velocidad angular totalmente.

La escasa contribución de la articulación del hombro en la cadena cinética, especialmente a partir del 80% del tiempo total, confirma el hecho de que el ángulo medio de salida del peso sea algo inferior al que teóricamente permitiría un alcance máximo, posiblemente debido a las dificultades musculares para seguir flexionando hacia arriba el brazo en contra de la gravedad y a la mejor predisposición muscular para acelerar el peso hacia delante mediante la abducción de la escápula y extensión del codo.

#### REFERENCIAS

- ABDEL-ASIZ, Y.J. Y KARARA, H. M. (1971). Directer linear transformation from comparator coordinates into space coordinates in close-range photogrammetry. A.S.P. Symposium on close-range photogrammetry. American Society of Photogrammetry: Falls Church.
- BARTONIETZ, K. (1994). Rotational shot put technique: Biomechanics findings and recommendations for training. *Track an Field Quarterly Review*, 93, 3: 18-29.
- BARTONIETZ, K Y BORGSTRÖM, A. (1995). The throwing events at the World Championships in Athletics 1995, Goteborg – Technique of the world's best athletes. Part 1: Shot put and hemmer throw. *New Studies in Athletics*, 10, 4: 43-63

- COH, M. Y STUHEC, S. (2005). 3-D kinematic analysis of the rotational shot put technique. *New Studies in Athletics*, 20, 3: 57-66
- COH, M. SUPEJ, M. Y STUHEC, (2007). Biodinamic analysis of the rotational shot put technique. *Track Coach*: 5769-5775.
- GOSS-SAMPSON, M.A. Y CHAPMAN, M. (2003). Temporal and kinematic analysis of the rotational shot put technique. *Journal of Sports Sciences*. 21: 237-238
- GUTIÉRREZ-DAVILA, M.; ROJAS F.J.; CAMPOS, J.; GÁMEZ, J. Y ENCARNACIÓN, A. (2009). An Analysis of the individual Techniques of the Shot Put Finalists in the Valencia Indoor Athletics World Championship, 2008. *New Studies in Athletics*, (en prensa)
- HUBBARD, M., MESTRE, N. J. Y SCOTT, J. (2001). Dependence of release variables in the put. *Journal of Biomechanics*, 34: 449-456.
- LANKA, J. (2000). Shot Putting. In B. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in Sport*. (pp.435-457) Blackwell Science Ltd.
- LEVA, P. DE (1996). Adjustment to Zatsiorsky-Selunanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 29, 9: 1223-1230.
- LICHTENGERG D. B. Y WILLS J. G. (1978). Maximizing the range of the shot put. *American Journal of Physics*, 46: 446-549.
- LINTHORNE, N. P. (2001). Optimum release angle in the shot put. *Journal of Sports Sciences*, 19: 359-372
- LUHTANEN, P., BLOMQUIST, M. Y VÄNTTINEN, T. (1997). A comparison of two elite putters using the rotational technique. *New Studies in Athletics*, 12, 4: 25-33.
- TSIRAKOSS, D. K., BARTLETT, R.M. Y KOLLIAS, I.A. (1995). A comparative study of the release and temporal characteristics of shot put. *Journal of Human Movement Studies*, 28: 227-242.
- ZATSIORSKY, V.M. (1990). *The Biomechanics of shot putting technique*. In G. P. Brüggemann y J. K. Rühl (Eds) Proceedings of the First International Conference on Techniques in Athletics, 1. Köln: Deutsche Sporthochschule.
- ZATSIORSKY, V. M. Y SELUYANOV, V.N. (1985). *Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regression equations*. In: D. Winter et al. (Eds), *Biomechanics IX-B* (pp. 233-239). Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.
- WOOD, J. A. Y JENNINGS, L.S. (1979). On the use splines functions for data smoothing. *Journal of biomechanics*, 12: 477-479.