

Nº de Orden: 0170

Título: ANÁLISIS DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN DE LA CABEZA Y DE LAS LÍNEAS DE HOMBROS Y CADERAS EN EL PLANO TRANSVERSAL, EN EL RENDIMIENTO DEL LANZAMIENTO DE JABALINA.

Autores: José Campos Granell y Javier Gámez Payá.

Procedencia: Departamento Educación Física y Deportiva. Universidad de Valencia.

Correo: Jose.Campos@uv.es

1.- INTRODUCCIÓN.

La acción técnica en el lanzamiento de jabalina se considera una cadena cinética de movimiento, basada en una aceleración secuencial de segmentos. Estos movimientos basados en impulsos parciales se realizan en varios planos. Entre las acciones de conexión que más contribuyen a la consecución del rendimiento encontramos los movimientos de rotación que se realizan en el plano horizontal realizados por la cabeza y por las líneas de caderas y hombros.

Los estudios realizados centrados en el análisis cinemático del lanzamiento de jabalina describen las acciones de rotación de las líneas de las caderas y de los hombros a lo largo de la fase final. Sin embargo, no hemos encontrado en la literatura específica trabajos que describan o analicen la contribución del movimiento de la cabeza en las acciones de acompañamiento (acción-reacción) que realiza. De hecho, el modelo teórico de la especialidad describe la posición que deben adoptar las líneas de las caderas y de los hombros (Koltai, 1985): al principio de la fase final la línea de los hombros se encuentra más retrasada que la de las caderas, y posteriormente, en los instantes finales del lanzamiento, los hombros alcanzan a las caderas y las sobrepasan en un movimiento de rotación que avanza en sentido contrario al que lo hacen las agujas del reloj.

En los gestos deportivos el movimiento de la cabeza colabora en el mantenimiento de los sistemas del equilibrio y del control del movimiento. Estos sistemas incluyen el sistema vestibular y los mecanismos de control visual a través de los cuales el deportista obtiene información del equilibrio en sus dimensiones “dinámica” y “estática” (Schumway-Cook and Wholacott, 1985).

Con todo, el presente trabajo tiene como objeto la descripción del comportamiento en rotación de la cabeza, además de analizar su contribución al lanzamiento junto a otros dos parámetros cinemáticos de rotación en el plano horizontal como es el caso de las líneas de las caderas y de los hombros.

2.- MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio está basado en la utilización de Fotogrametría 3D. La filmación de las escenas se realizó con dos cámaras SVHS, sincronizadas entre sí, a una frecuencia de muestreo de 50 Hz. Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de digitalización manual, fotograma a fotograma por medio de la aplicación “*Kinescan-IBV*”. Por medio de la misma aplicación se calcularon las coordenadas 3D con el método de la DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971) se

suavizaron estas coordenadas por medio de funciones "Spline" de quinto orden con el método GCV (Woltring, 1986) y se calcularon las variables de interés.

El modelo anatómico utilizado consta de 25 puntos, de los que 23 corresponden al cuerpo del atleta y 2 a la jabalina. Para poder analizar los movimientos de la cabeza en el plano transversal y sagital se consideraron 4 puntos: *cartílago nasal*; *inion*; *vértex*, y *cuello-mentón*. De este modo, se puede conocer los movimientos que realiza la cabeza en los tres grados de libertad que posee el cuello, al tratarse de una articulación de tipo enartrósica.

La muestra utilizada estaba compuesta por 13 atletas. Seis de ellos de nivel mundial pertenecientes al estudio realizado en el Campeonato del Mundo de Atletismo Sevilla'99, mientras que los siete restantes fueron finalistas en el último campeonato de España de pista en aire libre celebrado en Valencia entre los días 28 y 29 de julio de 2001 (Tabla 1).

Tabla 1. Muestra utilizada en el estudio y valores obtenidos por cada atleta en cada una de las variables de rendimiento consideradas.

atleta	Marca	Velocidad de Lanzamiento (m/s)	Angulo de lanzamiento (°)
Alejandro García	70.74	23,40	33,20
J.M. Hermoso	70.97	23,20	32,50
Ed. Veranes	70.06	24,00	25,60
Fernando García	69.91	24,10	35,00
Gustavo Dacal	69.88	24,30	27,30
Carlos Pérez	64.85	23,40	33,70
Antonio Esteban	63.95	24,30	35,40
Henry	85.43	28,20	32,10
Hecht	85.24	28,40	40,10
Backley	83.84	28,50	36,50
Parvianen	89.52	28,20	32,10
Gatsioudis	89.18	28,40	40,10
Zelezny	87.67	28,50	36,50

Las variables que se utilizaron para el análisis, fueron las siguientes:

- Distancia de lanzamiento
- Velocidad de lanzamiento
- Ángulo de lanzamiento
- Ángulo de rotación de la línea que une el cartílago nasal con el ínon en el plano horizontal.
- Ángulo de rotación de la línea de las caderas en el plano horizontal.
- Ángulo de rotación de la línea de los hombros en el plano horizontal.
- Velocidad Angular de la línea de las caderas con respecto al eje Y.
- Velocidad Angular de la línea de los hombros con respecto al eje Y.

Para poder interpretar los resultados respecto de los valores obtenidos en los ángulos de rotación, se establece que cuando las líneas de las caderas, hombros, y cartílago nasal-inion se encuentran paralelas al eje Y alcanzan el valor de 180° (en esta posición el hombro derecho, cadera derecha, o punto occipital se encuentran retrasados respecto de su lado contrario). Dado que a medida que avanza el atleta en la fase final los movimientos de

rotación se realizan en sentido contrario al de las agujas del reloj, los valores en el plano horizontal conllevan una disminución progresiva de dicho ángulo.

Los instantes temporales que se han considerado para analizar las variables son: (para el caso de lanzadores diestros)

- T1: representa el instante de la llegada del pie derecho al suelo y por tanto, el inicio de la fase preparatoria
- T2: 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
- T3 representa el instante de abandono de la jabalina en la acción final de lanzamiento

Como tratamiento estadístico se calcula el coeficiente de correlación Pearson tomando como variables de referencia la Marca, la Velocidad de lanzamiento y el Angulo de lanzamiento.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La tabla 2 contiene los resultados correspondientes a la matriz de correlación calculada en la que se incluyen las relaciones bivariadas en la que se han encontrado relaciones estadísticamente significativas para un nivel de confianza del 95%.

Como puede comprobarse, las variables que mantienen una relación de dependencia con alguna de las variables de rendimiento (marca, velocidad de lanzamiento y ángulo de lanzamiento) son la rotación de los hombros en los instantes t1 y t3, la rotación de las caderas en t1 y t3, y la velocidad angular máxima alcanzada por las líneas de las caderas y de los hombros.

En cuanto al ángulo de rotación de la cabeza, sólo mantiene una relación de dependencia con el ángulo de las caderas, ambos en el instante t1.

Tabla 2: Matriz de correlación correspondiente a las variables analizadas (95% confianza).

Variables	Marca	Velocidad de lanzamiento	Ángulo de lanzamiento	Rot. Cabeza en t1	Rot. Caderas en t3
Velocidad de lanzamiento	.946 (p= .000)				
Rotación hombros t1	-.605 (p= .028)	-.579 (p= .038)			
Rotación hombros t3		-.598 (p= .031)			
Rotación caderas t1				.583 (p= .036)	
Rotación caderas t3	-.910 (p= .000)	-.889 (p= .000)	-.624 (p= .023)		
Max. Vel. Angular caderas	.780 (p= .002)	.765 (p= .002)	.566 (p= .044)		-.719 (p= .006)
Max. Vel. Angular hombros	.788 (p= .001)	.803 (p= .001)	.565 (p= .044)		-.848 (p= .000)

3.1.- Los movimientos de rotación de la cabeza en el plano horizontal.

Sólo se ha encontrado que existe una relación significativa entre la posición de rotación de la cabeza en el instante T1 y el ángulo de rotación de las caderas, también en el instante t1 (r: .583, p< .036). Esto es, en el instante correspondiente al inicio de la fase preparatoria las caderas y la cabeza siguen un patrón de comportamiento paralelo de manera que a mayor rotación de las caderas le corresponde una mayor rotación de la cabeza.

Dado que no se ha encontrado que exista una relación estadísticamente significativa entre el movimiento de rotación de la cabeza y las variables de rendimiento, se constata que las acciones de rotación de la cabeza no influyen en el rendimiento de este grupo de atletas, lo cual conduce a interpretar que las acciones que los atletas realizan con la cabeza en su rotación en el plano transversal obedecen a reacciones de ajuste del modelo individual que no pueden generalizarse como una forma de comportamiento.

Desde el punto de vista descriptivo, los datos indican que el comportamiento de la cabeza durante el lanzamiento de jabalina, sigue patrones diferentes, aunque podrían agruparse en torno a dos modelos de mayor similitud. La tabla 3 muestra los valores de las variables de rotación correspondientes a las líneas de la cabeza para cada uno de los instantes temporales de referencia. En el instante T1 se observan posiciones similares en todos los atletas analizados. Todos los atletas mantienen para ese instante temporal valores superiores a los 180°, lo que significa mantener la cabeza girada hacia la derecha. Es en la fase final; es decir, de T2 a T3, cuando se observan comportamientos dispares, que seguidamente describiremos.

Una de las diferencias estriba en el instante de inicio de la acción de desgiro hacia la izquierda. Un grupo de 7 atletas mantiene la línea de la cabeza alineada en una posición casi coincidente con dirección del lanzamiento en el instante T2, mientras que el resto (6) en ese instante ya han girado la cabeza más allá de ese punto de referencia frontal. A partir de T2 todos los atletas siguen girando la cabeza hacia la parte izquierda, el cual se prolonga hasta el abandono de la jabalina (T3); y superado dicho instante, la cabeza cesa su movimiento. Dentro de este grupo se observan algunas diferencias, en cuanto al tiempo de rotación hacia la izquierda y a la magnitud de los ángulos de giro.

En un grupo reducido de atletas se observa una circunstancia especial por cuanto antes de producirse el abandono, se deshace el sentido de la rotación; es decir, la cabeza gira hacia la derecha.

ATLETA	ROTACIÓN CABEZA (°)		
	T1	T2	T3
A. García	190	172	134
J.M. Hermoso	189	156	143
E. Veranes	191	181	130
F. García	248	180	141
G. Dacal	192	195	142
C. Pérez	189	187	137
A. Esteban	196	183	146
Henry	217	169	129
Hecht	225	169	146
Backley	200	163	143
Parvianen	201	192	133
Gatsioudis	233	191	138
Zelezny	197	169	137

3.2.- Los movimientos de rotación de las líneas de las caderas y de los hombros.

Los parámetros cinemáticos que muestran una mayor relación de dependencia respecto de las variables de rendimiento son el ángulo de las líneas de las caderas y de los hombros. Más concretamente, esta relación es significativa para los hombros en los instantes T1 y T3, mientras que para el caso de las caderas la relación se reduce al instante T3. (ver tabla 2) En todo caso, conviene destacar que mientras la relación de los hombros influye en la marca y en la velocidad de lanzamiento, las caderas en el instante T3 influyen además en el ángulo de lanzamiento. ($p < .05$). Las relaciones bivariadas con un mayor grado de significación son

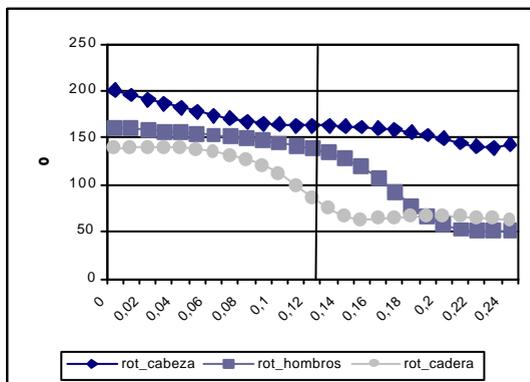
las que acontecen entre la posición de las caderas en el instante T3 y las variables de rendimiento Marca ($p > .001$) y Velocidad de lanzamiento ($p < .001$), poniendo de manifiesto que se obtiene un mayor rendimiento en los casos en que las caderas se encuentran más adelantadas en el instante del abandono, o lo que es lo mismo, cuando se consigue un mayor recorrido de giro en las caderas.

Desde el punto de vista descriptivo, los atletas sitúan la línea de las caderas y los hombros de acuerdo a patrones diferenciados. Sólo 5 de los 13 atletas, en el instante del doble apoyo (T2), mantienen la línea de los hombros con un ángulo cercano a los 140° en línea con las apreciaciones de Morris y Bartlett, (1966) para el caso de lanzadores de élite (tabla 4). El resto de los atletas adopta posiciones en los hombros de adelanto que podrían influir en la reducción del recorrido de impulsión de la jabalina.

Tabla 4: Ángulos de rotación de las líneas de los hombros y de las caderas en los instantes de referencia.

ATLETA	ROTACIÓN HOMBROS ($^\circ$)			ROTACIÓN CADERAS ($^\circ$)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
A. García	182,9	132,1	62,9	147	118,1	75,4
J.M. Hermoso	166,0	110,2	70,7	150,7	97,5	91,6
E. Veranes	169,5	121,7	51,4	132,2	107,6	89,5
F. García	186,8	117,9	59,8	151,3	89,6	79,8
G. Dacal	164,0	145,0	75,0	136,7	134,7	88,7
C. Pérez	179,9	139,6	76,7	144,8	104,0	92,7
A. Esteban	180,0	125,3	61,8	128,4	103,6	88,1
B. Henry	173,3	123,9	40,1	150,5	106,1	73,6
R. Hecht	154,3	148,4	53,3	151,2	113,4	65,7
S. Backley	161,2	138,2	51,5	137,9	86,0	62,7
A. Parvianen	161,8	138,2	53,6	148,4	92,6	62,6
K. Gatsioudis	157,8	103,4	69,2	154,9	125,8	56,9
J. Zelezny	175,6	84,4	51,8	136,3	124,3	53,2

En relación con las posiciones adoptadas por la línea de las caderas, encontramos dos patrones diferenciados. El del grupo de lanzadores que llegan al instante de doble apoyo con las caderas adelantadas con un ángulo menor de 100° (4 de los 13 atletas), y el del grupo mayoritario que mantiene la línea de las caderas más retrasadas en dicho instante. Esto no es sino a confirmación de diferentes modelos individuales que en todo caso, no afectan al rendimiento. Por el contrario, en el instante T3 se dan las diferencias más importantes de manera que los lanzamientos más largos se consiguen gracias a un mayor recorrido de las caderas hasta el instante de despegue ($p < .001$).



Finalmente, la relación entre ambos movimientos de rotación muestran también dos formas o patrones diferenciados. Por un lado, el de los lanzadores que realizan una acción dinámica

“activa” de la línea de las caderas en su movimiento de rotación, y por otro lado, el de los lanzadores que actúan de forma “pasiva” con las caderas respecto del movimiento de los hombros. La figura 1 muestra un ejemplo de comportamiento “activo” en el que se puede apreciar que las caderas independizan su acción de rotación del de los hombros antes del instante T2 representativo del doble apoyo..

3.3.- Velocidad Angular de las líneas de caderas y hombros.

La velocidad angular alcanzada por las líneas de las caderas y de los hombros constituye otro factor decisivo para obtener rendimiento tal y como puede comprobarse en los datos incluidos en la tabla 2. Estos resultados ponen de manifiesto que la velocidad con la que giran las caderas y los hombros influyen decisivamente en el rendimiento final.

La consecuencia de la máxima velocidad de despegue de la jabalina requiere un óptimo impulso de transmisión a través de la cadena cinética cadera-tronco-brazo-jabalina (Menzel, 1986). En nuestro caso, este hecho se ve confirmado por la relación de dependencia encontrada entre la velocidad angular de la cadera, la velocidad angular de los hombros y la velocidad de lanzamiento. A mayor velocidad angular de la cadera se produce una mayor velocidad angular de los hombros ($p < .01$); y a mayor velocidad angular de los hombros se produce mayor velocidad de despegue de la jabalina ($p < .001$). La figura 2 representa un ejemplo de la sucesión temporal de la velocidad angular de las líneas de caderas y hombros a lo largo de la fase final de lanzamiento (T2 a T3) que en todo caso muestra dos formas diferenciadas. Por un lado, el de los lanzadores que consiguen los picos máximos de velocidad angular antes del instante T2, y el de los lanzadores que lo consiguen después de T2.

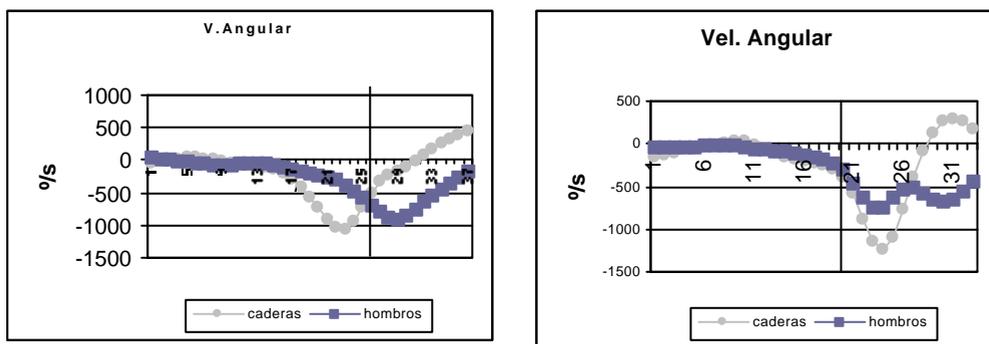


Figura 2: Representación de la velocidad angular de las líneas de las caderas y de los hombros en dos lanzadores.

4.- CONCLUSIONES

En primer lugar, cabe concluir que la metodología utilizada para el análisis de los movimientos de rotación de la cabeza, caderas y hombros se ha mostrado válida aunque, para el caso de los movimientos de la cabeza, sería aconsejable realizar algunos cambios en el protocolo de filmación, como ubicar las cámaras en posiciones que favorezcan la eliminación de puntos oscuros, o la utilización de marcadores auxiliares, con objeto de mejorar la imagen final del atleta para facilitar el posterior proceso de digitalización manual.

En relación con los resultados obtenidos del análisis cinemático, destacar en primer lugar la constatación de que una mejor transmisión entre las diferentes cadenas cinéticas conduce a un mejor resultado. Las relaciones de dependencia encontradas entre las acciones realizadas por las caderas y los hombros respecto de la velocidad de despegue y la marca conseguida confirman la existencia de una acción secuencial de conexión en coincidencia con la estructura dinámica que caracteriza a las acciones de golpeo o lanzamiento.

El hecho de no haber encontrado existencia de relaciones entre el movimiento de rotación de la cabeza y cualquiera de las variables de rendimiento apunta el hecho de que la contribución de este segmento en el plano horizontal no afecta al rendimiento. En todo caso, y como quiera que el estudio ha estado limitado al análisis de los movimientos de rotación en el plano transversal, no debería cerrarse la puerta a la posibilidad de que otros movimientos descubrieran nuevas relaciones de dependencia que aportaran más luz al problema. De hecho, la cabeza se mueve rotando también sobre otros planos debido a que, de forma paralela a la rotación transversal, se produce una inclinación lateral del eje sagital. Con todo, se propone ampliar el estudio a una muestra más amplia de lanzadores de diferente nivel de rendimiento y centrando el análisis en todos los movimientos que realiza la cabeza a lo largo de la fase final de lanzamiento.

5.- BIBLIOGRAFÍA.

- ABDEL-AZIZ Y.I. y KARARA, H.M. 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, 1971, pp. 1-18.
- BARTLETT, R.M., MUELLER, E., LINDINGER, S., BRUNNER, F., MORRIS, C. Three dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill level. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(1), 1996, pp- 58-71
- BEST, R.-J; BARTLETT, R.-M; MORRISS, C.-J. A three-dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of sports sciences*. London, 1993. 11(4), 315-328.
- CAMPOS, J., RAMÓN, V.: Una experiencia sobre el seguimiento de la técnica de los mejores lanzadores españoles de lanzamiento de jabalina a través de análisis biomecánico, En *ICD*, nº12, *Análisis biomecánico de las técnicas deportivas*, Investigaciones en Ciencias del Deporte, Consejo Superior de Deportes, Madrid, 1996, pp.51-86
- KOLTAI, J.. The Javelin Throw. In I.A.A.F. *Athletes in Action*. International Amateur Athletic Federation, London, 1985
- MENZEL, H.J. :Transmission of partial momenta in javelin throw. En *Biomechanics X-8*, (Editado por Jonsson, B.), Human Kinetics Publishers, Champaign, 1985, pp. 643-647.
- MERO, A; KOMI, P.-V; KORJUS, T; NAVARRO, E; GREGOR, R.-J. Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of applied biomechanics*., Champaign, III, 10(2), 1994, pp. 166-177.
- MORRISS, C; BARTLETT, R. Biomechanical factors critical for performance in the men's Javelin throw. *Sports medicine*. Auckland, N.Z., 1996. 21(6), pp. 438-446.
- SCHUMWAY-COOK, A, & WOOLACOTT, M.H. The growth of stability: Postural control from a developmental perspective. *Journal of Motor Behaviour*, 1985, 17, pp. 131-147
- WHITING, W.C., GREGOR, R.J. y HALUSHKA, M. Body segment and release parameter contributions to new rules javelin throwing. *Int. J. Sport Biomech.*, 1991, 7(2), pp. 111-124.
- WOLTRING, H.J. A Fortran package for generalized, cross validatory spline smoothing and differentiation. *Adv. Eng. Software*. 1986, 6(2), pp. 104-113.