Biomecánica, 8 (1), 2000, pp. 15-23

Evaluación de parámetros biomecánicos del lanzamiento de jabalina en lanzadores de diferente nivel de rendimiento

J. CAMPOS, G. BRIZUELA, V. RAMÓN
Departamento de Educación Física y Deportiva
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad de Valencia

Resumen

Mediante análisis cinemático y utilizando como muestra a lanzadores agrupados en función de la marca conseguida (grupo internacional: atletas con marca superior a los 80 metros; y grupo nacional: atletas con marca inferior a 80 metros) el objetivo del estudio se centró en determinar si alguno de los parámetros utilizados para evaluar la eficacia del gesto establece diferencias entre uno y otro grupo de lanzadores.

Los resultados muestran que algunos de dichos parámetros cinemáticos ayudan a establecer los márgenes para la pertenencia a los. Del total de las 41 variables contrastadas, sólo 8 de ellas establecían diferencias significativas entre grupos para un nivel de confianza del 95%: velocidad de lanzamiento; velocidad máxima alcanzada por el codo; velocidad del codo en el instante del despegue; la altura de lanzamiento; la inclinación lateral de la línea de los hombros al inicio de la fase final; el ángulo de rotación de las caderas y de los hombros en el plano horizontal en el inicio de la fase final; y el ángulo de posición de la jabalina en el instante del despegue.

El estudio se realizó a partir de los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología - CICYT (SAF95-0721-C04-04), y el proyecto financiado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte junto al Centro de Investigación en Ciencias del Deporte, de referencia 08/UNI22/97, y la colaboración de la Unidad de Biomecánica del CARICD de Madrid.

Palabras clave: Lanzamiento de Jabalina. Biomecánica. Atletismo.

Introducción

Una de las fases más decisivas en la especialidad del lanzamiento de jabalina es la fase final o también conocida como fase de "doble apoyo", denominada así porque los dos pies del lanzador se encuentran en contacto con el suelo. Una fase en la que los lanzadores deben aprovechar la energía ganada en las fases anteriores para acelerar la jabalina y proyectarla a la mayor velocidad posible.

La fase de «doble apoyo» se produce al final de la fase acíclica, y más concretamente a lo largo del período de tiempo en el que se produce la última zancada anterior al abandono de la jabalina y en la que se pueden diferenciar[5, 8]:

Una Fase Preparatoria: que constituye una fase Unipodal y para el caso de un lanzador diestro, comienza en el instante del último apoyo del pie derecho en el suelo antes de la proyección de la jabalina (que reconoceremos como instante T1), y termina en el instante del último contacto del pie izquierdo (que reconoceremos como instante T2). El objetivo de esta fase consiste en reducir la velocidad de aproximación del atleta, ade-

Correspondencia:
José Campos Granell
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
C.E.I. de Cheste, Carretera Valencia-Cheste s/n,
46380 - CHESTE (Valencia)
Tfn: 962511411
Fax: 962512403
E-mail: Jose.Campos@uv.es

más de colocar al sistema lanzador-jabalina en la posición idónea para poder proyectar la jabalina con la dirección, altura y ángulo adecuados.

Una Fase de Lanzamiento: que comienza en el instante de la finalización de la fase preparatoria (T2), hasta el instante de la proyección de la jabalina (que reconoceremos como instante T3) y es en ella en la que el lanzador realiza las acciones técnicas más decisivas con el objetivo de acelerar la jabalina y proyectarla a la máxima velocidad de despegue posible.

Generalmente, los estudios centrados en el análisis biomecánico de las técnicas deportivas describen con precisión el comportamiento motor de un sujeto a partir del análisis de determinados parámetros cinemáticos o cinéticos entendidos como patrones de eficacia. Dichos estudios se suelen orientar en algunas de las siguientes direcciones: a) descripción de la ejecución de un lanzador; b) comparación de resultados en función de niveles de rendimiento; y c) análisis causal a partir del modelo individual de un deportista.

El presente estudio está centrado en la segunda dirección, esto es, en el análisis de las diferencias que existen entre lanzadores de diferente nivel de rendimiento. En este caso, el análisis se ha dirigido a la fase Final del lanzamiento. Una fase en la que se producen las acciones más decisivas para proyectar la jabalina a la máxima velocidad de despegue posible, que en atletas de alto nivel alcanza valores entre 29 y 31 m/s, cuya duración oscila entre los 100 y 130 ms., y cuyos movimientos están basados en una secuencia de acciones donde los puntos más alejados del implemento alcanzan su máximo pico de velocidad antes que los más próximos al mismo.

Algunos estudios han aportado información respecto de la contribución de cada uno de dichos segmentos o puntos articulares. Al respecto, Menzel [9] buscó relaciones entre los cambios de velocidad del tronco, brazo y antebrazo concluyendo que la máxima velocidad del antebrazo estaba relacionada con el decrecimiento de la velocidad del brazo, y que el máximo de velocidad del brazo lo estaba con el decrecimiento de la velocidad del tronco. Por otro lado, el máximo de velocidad de la cadera derecha se considera un factor importante aunque no existen pronunciamientos claros al respecto. Best [3] observó que había atletas que alcanzaba ese máximo antes de la llegada del pie izquierdo al suelo, mientras otros la hacían después, con lo cual concluyó que este factor dependía fuertemente de la técnica individual del lanzador. Precisamente en un estudio de caso Navarro y Campos [4] constataron que la posición de la cadera en determinados instantes establecía diferencias significativas en relación con la marca alcanzada.

En el lanzamiento de jabalina, los estudios más representativos que han abordado el análisis de las diferencias que se dan entre lanzadores de jabalina de diferente nivel de rendimiento han sido realizados por Menzel[9, 10]; Whiting, Gregor, Halushka[14]; y Bartlett, Müller, Lindinger, Brunner, Morris [2]. En el estudio de Whiting se constató que los lanzadores de elite se caracterizaban por: a) la jabalina alcanzaba mayor velocidad en el despegue; b) el ángulo de ataque era más bajo; c)La rodilla de la pierna adelantada estaba más extendida en el instante del despegue; d) mantenían una mayor distancia horizontal entre el grip de la jabalina y la cadera correspondiente al lado lanzador.

El objetivo del presente estudio fue determinar los aspectos técnicos que diferencian, de forma significativa, a lanzadores de diferente nivel de rendimiento a partir de la consideración de los parámetros cinématicos más frecuentemente utilizados para describir la técnica de lanzamiento. El análisis se concentra en las acciones que tienen lugar en la fase final de lanzamiento (de T2 a T3) y en la que se consideran:

- El análisis temporal (T2 aT3).
- La velocidad de los marcadores para cada instante o fase de lanzamiento (hombro, codo, mano y jabalina).
- Las posiciones que adopta el lanzador y la jabalina a lo largo de la fase final.

Material y método

La técnica instrumental utilizada fue la Fotogrametría 3D, basada en 2 cámaras Cinematográficas de 16mm, de alta velocidad. Teniendo en cuenta las velocidades alcanzadas por los puntos anatómicos del cuerpo, en especial los correspondientes al miembro superior, y la corta duración del lanzamiento se decidió utilizar una frecuencia de filmación de 100 fotogramas por segundo.

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[1], se suavizaron estas coordenadas por medio de funciones «Spline» de quinto orden y con el método GCV [15] y se calcularon las

variables de interés.

El análisis estadístico se realizó comparando las medias de los valores para cada variable, más concretamente una prueba t- Student para muestras independientes, previa consideración del test de Levene para comprobar la homogeneidad de la varianza de cada una de las variables analizadas en los dos grupos.

Muestra

La muestra estaba compuesta por un total de 14 atletas de categoría masculina (6 atletas de nivel Internacional, y 8 atletas de nivel Nacional), todos los cuales habían sido filmados por el grupo de investigación en alguna competición realizada en España durante el período en el que fueron desarrollados los proyectos financiados. Los grupos quedaron establecidos en función de la marca de lanzamiento: el grupo *Internacional* con los lanzadores con marca igual o superior a 80 metros; el grupo *Nacional* con los lanzadores con marca inferior a 80 metros. La razón de elegir la marca de 80 metros como medida diferenciadora se debió a que se consideró que dicha marca establecía una diferencia objetiva y real en lo que se considera la frontera para acceder al nivel internacional en la especialidad. Como referencia, valga recordar que el actual récord de España de la especialidad se de 78.78 m.

Determinación de las variables

A través de la aplicación de una prueba T se pretende comparar, teniendo en cuenta la dispersión de los datos, la diferencia observada entre las medias da las variables representativas de los parámetros cinemáticos que describen el modelo individual en cada uno de los grupos de rendimiento. En la tabla 1 se presentan los descriptivos de la variable «marca» (media, desviación estándar, máximo y mínimo de los resultados de los atletas que conformaban cada uno de los grupos) en la que se puede comprobar que los grupos representan dos niveles de rendimiento diferentes al constatarse una diferencia en la media de cada grupo de casi 15 metros que, además, se mantiene también para los valores máximos y mínimos.

Las variables que se eligieron para el análisis fueron aquellas que con más asiduidad se utilizan en los estudios cinemáticos del lanzamiento de jabalina, las cuales fueron agrupadas en función del carácter de su intervención y que son las siguientes:

1. Comportamiento de la cadena inferior: En la que se considerarán los siguientes parámetros cinemáticos en cada uno de los instantes temporales T2 y T3:
- Ángulo de la rodilla derecha.
- Ángulo de la rodilla izquierda.
- Amplitud del último paso (“doble apoyo” final)
- Altura de la cadera derecha al suelo.
- Ángulo de inclinación de la línea de las caderas.
- Ángulo de rotación de la cadera.

2. Comportamiento de la cadena superior: En la que se considerarán los siguientes parámetros cinemáticos en cada uno de los instantes temporales T2 y T3:
- Ángulo de inclinación anteroposterior del tronco.
- Ángulo de inclinación lateral de la línea de los hombros
- Ángulo de rotación de la línea de los hombros.
- Ángulo de flexión del codo.
- Altura del lanzamiento.

3. El modelo secuencial individual a partir de la consideración de los siguientes marcadores: cadera, hombro, codo y jabalina.
- velocidad lineal en cada uno de los instantes de referencia T2 y T3
- velocidad máxima alcanzada.
- tiempo transcurrido entre su pico máximo de velocidad y el instante de proyección T3.

4. La posición de la jabalina y algunos factores aerodinámicos para su proyección.:
- Ángulo de posición en cada uno de los instantes T2 y T3.
- Ángulo de lanzamiento.
- Ángulo de ataque.

Instantes Temporales de referencia

Tal y como se ha expresado en apartados precedentes, el estudio se ha dirigido al análisis y consi-

Tabla 1. Descriptivos de los grupos analizados por variable MARCA (mts).

GRUPO	Media	Desv. St.	Mínimo	Máximo	N
Internacional (>80)	83.56	3.17	80.76	88.86	6
Nacional (<80)	68.83	2.71	64.00	72.32	8

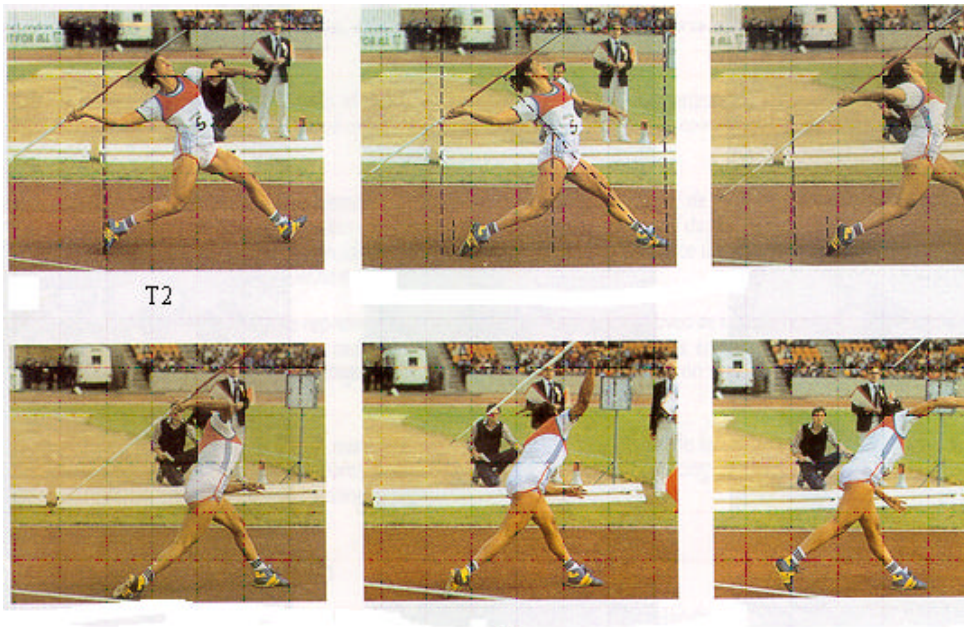

Figura 1. Instantes T2 y T3 de referencia temporal.

deración de las acciones que tienen lugar en la última fase de lanzamiento. Esto es, las acciones que se producen entre los instantes T2 a T3, los cuales utilizaremos para delimitar lo que definimos como Fase Final de lanzamiento en la que la jabalina se acelera hasta su proyección en el instante de despegue de despegue.

En la figura 1 aparecen descritos cada uno de los instantes de referencia T2 y T3. El instante T2 representa el instante en el que se produce la llegada al suelo del pie izquierdo correspondiente a la pierna adelantada, con lo que el atleta inicia la fase de doble. El instante T3 representa el instante de despegue en el que se proyecta la jabalina.

Resultados y discusión

Una vez aplicadas las técnicas estadísticas descritas anteriormente, y una vez comparadas las medias de las variables para cada uno de los grupos, se ha podido comprobar que del total de 41 variables contrastadas, sólo 8 de ellas establecían diferencias significativas entre grupos para un nivel de confianza del 95%. Estas variables fueron las siguientes:

- VJAB3: La velocidad de la jabalina en el instante de despegue (T3)
- VMAXCO: La velocidad máxima alcanzada por el codo
- VCOD3: La velocidad del codo en el instante del despegue (T3)
- INCLH2: la inclinación de los hombros al inicio de la fase final (T2),
- ROTHOM2: El ángulo de rotación de los hombros al inicio de la fase final (T2),
- ROTCAD2: El ángulo de rotación de las caderas al inicio de la fase final (T2)
- ZMAN3: La altura de lanzamiento en el instante de despegue (T3)
- APOS3: El ángulo de posición de la jabalina en el instante del despegue (T3).

Las tablas 2 y 3, muestran los descriptivos de cada una de las variables, mientras que la tabla 4 muestra los valores hallados en la prueba T.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos grupo de lanzadores Nacional.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
ROTCAD2	8	-29.40	-8.80	-21.9125	6.8900
ROTCAD2	8	-29.40	-8.80	-21.9125	6.8900
INCLH2	8	-23.00	-5.20	-12.6750	5.9847
INCLH2	8	-23.00	-5.20	-12.6750	5.9847
ROTHOM2	8	-60.90	-25.40	-44.5125	13.0133
ROTHOM2	8	-60.90	-25.40	-44.5125	13.0133
ZMAN3	8	1.69	2.02	1.8400	.1227
ZMAN3	8	1.69	2.02	1.8400	.1227
VJAB3	8	24.70	28.60	26.3375	1.1173
VJAB3	8	24.70	28.60	26.3375	1.1173
VCOD3	8	5.80	8.70	7.1375	.9086
VCOD3	8	5.80	8.70	7.1375	.9086
VMAXCO	8	13.70	17.20	15.6375	1.1388
VMAXCO	8	13.70	17.20	15.6375	1.1388
APOS3	8	33.40	41.00	38.0250	2.5381
APOS3	8	33.40	41.00	38.0250	2.5381

Tabla 3. Estadísticos descriptivos grupo lanzadores Internacional.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
ROTCAD2	6	-39.20	-19.70	-30.6667	8.6245
INCLH2	6	-24.50	-12.30	-19.4000	4.9348
ROTHOM2	6	-72.30	-46.60	-59.2333	11.0914
ZMAN3	6	1.92	2.17	1.9900	9.252E-02
VJAB3	6	27.60	31.50	29.4633	1.2897
VCOD3	6	6.00	8.40	6.8500	.8526
VMAXCO	6	16.40	19.10	17.3833	1.0147
APOS3	6	30.20	36.60	34.73	2.3897

Tabla 4. Variables que establecen diferencias significativas entre grupos.

Variable	Means/grupo	t-value	2 tail Sig (95%)
Vjab3 (m/s)	>80: 29.46 <80: 26.33	4.85	0.000
Vmaxcod (m/s)	>80: 17.58 <80: 15.63	2.97	0.012
Vcod3 (m/s)	>80: 6.85 <80: 8.26	-3.21	0.046
Inchom2 (º)	>80: -19.40 <80: -12.67	-2.24	0.045
Rotcad2 (º)	>80: -30.66 <80: -21.91	-2.12	0.050
Rothom2 (º)	>80: -59.23 <80: -44.51	-2.23	0.046
Zman2 (m.)	>80: 1.99 <80: 1.84	2.50	0.028
Apos3 (º)	>80: 34.73 <80: 38.02	-2.46	0.030

Velocidad en el instante de despegue (T3)

La velocidad de lanzamiento depende de la calidad de la transmisión de la energía cinética del cuerpo a la extremidad superior y de ésta a la jabalina. Los resultados muestran que los lanzadores de nivel internacional (>80 m) son capaces de proyectar la jabalina con mayor velocidad de despegue. Las diferencias son significativas a un nivel de confianza mayor que el 99% (P<0.0001), lo cual convierte a este parámetro en un valor importante para justificar las diferencias entre los lanzadores de uno y otro nivel de rendimiento. Las medias para uno y otro grupo de 29.46 y 26.33 m/s establecen unas diferencias de más de 3 m/s, o lo que es lo mismo, de más de 10 Km/h), entre grupos.

Estos resultados corroboran las referencias que aparecen en la literatura en las que la velocidad de lanzamiento mantiene un alto índice de correlación con la distancia de lanzamiento. De hecho, constituye el parámetro fundamental a la hora de evaluar la capacidad de un lanzador Los investigadores están generalmente de acuerdo con el hecho de que la velocidad de despegue de la jabalina es el parámetro que más relación tiene con la distancia de lanzamiento; Ikegami[7] obtenía un coeficiente de correlación entre la velocidad de despegue y la distancia de lanzamiento de 0.99, y, más recientemente, Mero[11] de 0.77.

Velocidad máxima del codo y Velocidad del codo en el instante de despegue.

Una de las acciones que en mayor medida contribuyen a conseguir una alta velocidad de lanzamiento es la transferencia de energía cinética desde los segmentos más largos y proximales (tronco), a los más pequeños y distales (brazo, antebrazo, mano), próximos a la jabalina. La velocidad máxima del codo ha sido considerado como un parámetro que muestra un alto índice de correlación con la velocidad de lanzamiento[9, 10].

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que la velocidad máxima alcanzada por el codo, por un lado, y la velocidad del codo en el instante del abandono por otro, establecen diferencias significativas entre grupos.

La figura 3, muestra los resultados para las diferencias entre grupos en ambos parámetros cinemáticos. A pesar de que las diferencias son significativas para las dos variables, cabe destacar un mayor nivel de confianza para las diferencias que establece la velocidad máxima del codo (p: 0.012), que la que establece la de la velocidad del codo en el instante T3 (p: 0.045).

Así, los lanzadores del grupo internacional consiguen picos de velocidad máxima más altos, y al mismo tiempo son capaces de frenar más el codo en el instante de despegue, demostrando un nivel de eficiencia mecánica superior a los lanzadores del nivel nacional.

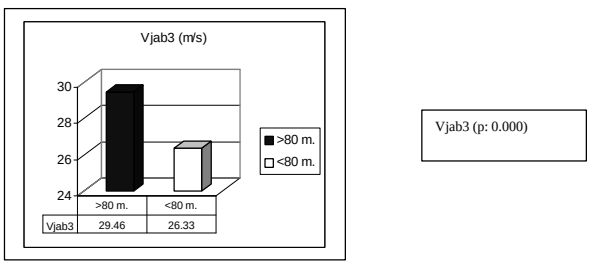

Figura 2. Valores representativos de las medias de la velocidad de lanzamiento (T3)

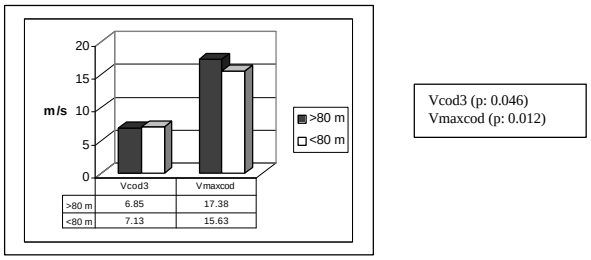

Figura 3. Valores representativos de las medias de la velocidad del codo en el despegue y del pico máximo de velocidad alcanzada por el codo.

Estos datos coinciden con los estudios de Menzel[9] en el sentido de que los lanzadores de elite consiguen mayor velocidad de lanzamiento a partir, entre otros factores, de la reducción de la velocidad del codo en el instante mismo del despegue. También son coincidentes con las conclusiones de Morris y Bartlett [12] en el sentido de que las diferencias más grandes entre lanzadores de distintos niveles se producen en las acciones que realizan los segmentos más distales. Más concretamente, en los valores alcanzados en los picos máximos de velocidad por un lado, y en el frenado necesario para transmitir energía a los segmentos más próximos a la jabalina por otro lado.

Ángulo de rotación de las líneas de caderas y de los hombros en el plano horizontal al inicio de la fase final (T2)

La orientación relativa de la cadena cinética al comienzo de la fase de lanzamiento determina la efectividad de la transmisión de energía. Bartlett registró la orientación de la proyección de las líneas de caderas y de hombros en el plano horizontal comprobando que los mejores lanzadores realizaban un mayor recorrido angular y que la línea de caderas se encontraba más adelantada que la línea de hombros respecto al eje vertical y en el sentido de una rotación contraria a las agujas del reloj en el instante del inicio de la fase final (T2).

Como se puede comprobar en la figura 4, los resultados vienen a constatar que los lanzadores de nivel internacional se sitúan en una posición diferente a los lanzadores del grupo nacional. En el instante del inicio de la fase final los lanzadores del grupo internacional sitúan la línea de las caderas 8.7º más giradas que lo que lo hacen los lanzadores del grupo nacional. En el caso de la línea de los hombros, los atletas del grupo internacional también se sitúan en una posición 15.3º más girados. A pesar de lo ajustado de los niveles de significación, parece que los lanzadores de mayor nivel se diferencian del grupo de menor nivel en que adoptan una posición más favorable para realizar un mayor recorrido de las líneas de las caderas y de los hombros en el plano horizontal, lo que significa favorecer la consecución de un mayor recorrido de impulsión de la jabalina.

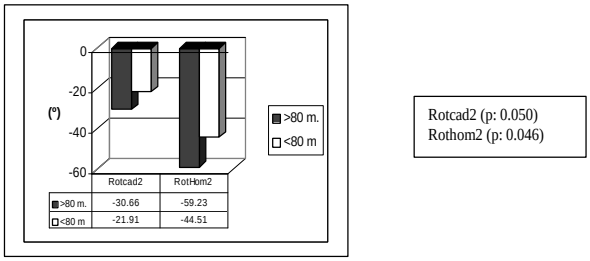

Figura 4. Valores representativos de las medias del ángulo de rotación de las líneas de hombros y caderas.

En un lanzamiento del exrecordman mundial Steve Backley de 87 mts se midieron un ángulo de la línea de las caderas de 121º al comienzo de la fase final de lanzamiento, y de 63º al final de la misma[3]. Por su parte, la orientación de la línea de hombros fue de 156º al comienzo y de 54º al final. En el caso de los valores que aparecen en la figura 4, una vez convertidos a la forma en que fueron medidos los de Backley, significaría que estaríamos hablando de que las medias de los lanzadores de nivel internacional serían de 121º y de 149º para las líneas de las caderas y hombros en el instante T2 respectivamente, demostrándose con ello que los valores que se han encontrado en nuestro estudio estarían en consonancia con los valores hallados por Best et al.. en la ejecución de Backley.

Ángulo de inclinación lateral de la línea de los hombros al inicio de la fase final (T2)

El ángulo de inclinación de los hombros es un parámetro cinemático poco utilizado para describir y evaluar el modelo individual de un lanzador. En este estudio, hemos encontrado que esta variable establece diferencias significativas entre los grupos, lo cual nos ha sorprendido dado que no existen referencias en la literatura específica por cuanto no se ha considerado un elemento diferenciador entre lanzadores.

En todo caso, el ángulo de inclinación de los hombros contribuye a la consecución de una mayor o menor altura de lanzamiento, y con ello a la obtención de un componente vertical en el lanzamiento. En el presente estudio se ha comprobado también que la altura de lanzamiento en el instante de despegue establece diferencias significativas entre los grupos analizados. Por tanto, y a pesar de la no-existencia de referencias en las que la inclinación de la línea de los hombros haya sido confirmada como un elemento diferenciador, en nuestro estudio constatamos una coincidencia manifiesta dado que los lanzadores del grupo internacional lanzan con una mayor altura y un mayor ángulo de inclinación de los hombros en el instante de despegue.

Los valores de las medias de uno y otro grupo establecen una diferencia entre grupos de aproximadamente 7º, para un valor de significación de

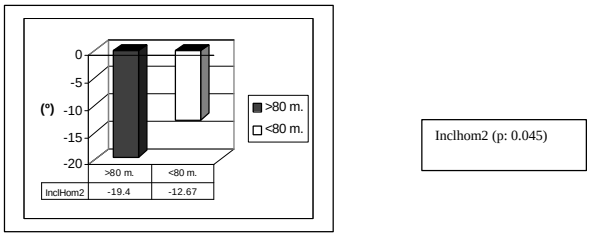

Figura 5. Valores representativos de las medias del ángulo de inclinación de la línea de hombros.

p=0.045, lo que significa un nivel de confianza bastante ajustado.

Altura de lanzamiento

La altura de lanzamiento, junto a la velocidad y el ángulo de lanzamiento, constituyen los factores que condicionan cualquier acción de tipo balístico. Anteriormente hemos comprobado que la velocidad de lanzamiento establecía diferencias significativas entre grupos y el hecho que la altura de lanzamiento aparezca también como una variable capaz de diferenciar a los grupos confirma su valor a la hora de proyectar la jabalina.

Los datos revelan que los lanzadores de nivel internacional lanzan desde una posición más alta que los de nivel nacional. Los valores de las medias muestran unos valores de 1.99 y 1.84 metros respectivamente para un nivel de confianza de p: 0.028. La figura 6 muestra la representación gráfica de los valores para uno y otro grupo.

En los estudios revisados no aparecen referencias en las que la altura de lanzamiento sea un parámetro que establezca diferencias entre grupos. Habría que considerar que la altura de lanzamiento está condicionada por la talla del lanzador y por ello, habría que haber aplicado alguna función correctora para poder considerar este dato. Sin embargo, también es cierto que la altura de lanzamiento no sólo está condicionada por la talla del lanzador, sino por las acciones que éste hace a lo largo de la fase final. De hecho, la acción de la pierna derecha, de las caderas, de los hombros y del codo, fundamentalmente, hacen que lanzadores con idéntica talla lancen a mayor o menor altura de lanzamiento. Dado que el nivel de confianza para las diferencias encontradas es relativamente alto (p: 0.028), conduce a admitir que el hecho de que los lanzadores del grupo internacional lance desde una posición más alta se pueda deber a cuestiones relacionadas más con la posición de lanzamiento, que a cuestiones de carácter antropométrico.

Así pues, y con las lógicas limitaciones a la hora de considerar este parámetro, creemos que resulta interesante constatar que la altura de lanzamiento se haya mostrado como una variable diferenciadora y que el hecho de lanzar la jabalina desde una mayor altura se pueda seguir interpretando como uno de los patrones de eficacia de la especialidad.

Ángulo de posición de la jabalina en el instante de despegue (T3)

El ángulo de posición de la jabalina contribuye a la determinación del ángulo de ataque y se define como el ángulo que forma el eje longitudinal de la jabalina con la horizontal [5]. El ángulo de ataque resulta de la diferencia entre el ángulo de posición y el ángulo del vector velocidad en el instante de despegue. Por tanto, constituye un parámetro representativo de las condiciones aerodinámicas que afectan a la jabalina en fase aérea. Los datos muestran que los atletas del grupo internacional lanzan con un ángulo de posición menor que los del grupo nacional (34.7 y 38º respectivamente). Esto es, una diferencia de más de 3 grados, (p: 0.03), que a efectos prácticos pone de manifiesto que en el instante del abandono los atletas de mayor nivel son capaces de mantener el eje longitudinal de la jabalina en un ángulo más cerrado y cercano a la horizontal.

En la literatura no hemos encontrado referencias en las que el ángulo de posición haya sido considerado como un parámetro que estableciera diferencia entre lanzadores de diferente nivel. Sin embargo, sí las hemos encontrado para el ángulo de ataque. En el estudio de Whiting [14] se constató que

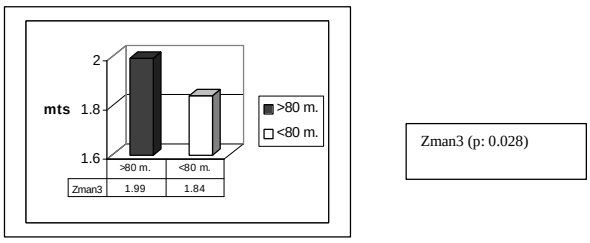

Figura 6. Valores representativos de las medias de la altura de lanzamiento.

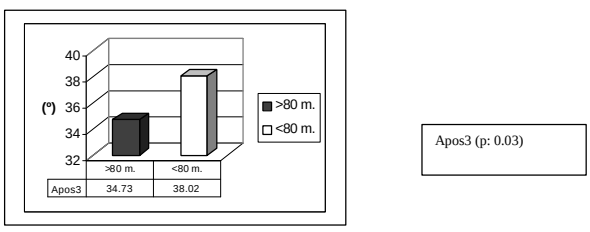

Figura 7. Valores representativos de las medias del ángulo de posición de la jabalina en el despegue.

los atletas de elite, a diferencia de los de menos nivel, lanzaban con un ángulo de ataque más bajo. En todo caso, y a pesar de que pueda existir cierto paralelismo entre ambos hallazgos, la consideración del ángulo de posición como factor diferenciador sólo explicaría una parte del problema central.

Conclusiones

En primer lugar, se ha podido constatar que los atletas de uno y otro grupo siguen un patrón de movimiento para la fase final de lanzamiento en consonancia con los postulados que definen el modelo teórico general[2, 9, 10, 11].

De forma pormenorizada, y en relación con las diferencias existentes entre los grupos de lanzadores, los resultados muestran que los lanzadores de los niveles de rendimiento superior (internacional) se diferencian de los lanzadores de rendimiento inferior (nacional) en las siguientes cuestiones:

- **Lanzan la jabalina a mayor velocidad.**
- **La velocidad máxima del codo alcanza valores más altos.**
- **Consiguen situarse con una mayor inclinación de los hombros al inicio de la fase final de lanzamiento (T2)**.: lo cuál favorece el aumento del recorrido de impulsión de la jabalina en la fase final.
- **Consiguen situarse con una mayor rotación de las caderas al inicio de la fase final de lanzamiento (T2)**: lo cuál favorece un mayor recorrido de las caderas en la fase de aceleración de la jabalina y como consecuencia una mayor capacidad para transmitir energía hacia el tronco y el brazo lanzador.
- **Consiguen un mayor frenado del codo en el instante de despegue**: favoreciendo con ello una mayor aceleración del marcador distal de la mano.
- **Lanzan desde una posición más alta.**
- **Sitúan la jabalina en el instante del despegue en un ángulo de posición más bajo.**

Con todo, la mayor contribución del estudio es constatar que **la velocidad máxima del codo y la velocidad de la jabalina en el instante del despegue** son los indicadores de mayor peso a la hora de establecer las diferencias que separan a los lanzadores de uno y otro grupo.

Por otra parte, convendría destacar el hecho de no haber encontrado diferencias significativas entre grupos, en parámetros considerados fundamentales a la hora de explicar el modelo teórico general como es el caso del ángulo de flexión de la rodilla de la pierna adelantada que sirve de apoyo al sistema, o el ángulo de ataque. Por ello, se propone diseñar estudios en los que se utilicen muestras más amplias de lanzadores para cada uno de los grupos de rendimiento establecidos para poder aplicar técnicas estadísticas de clasificación como Clustering y/o análisis discriminante.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Real Federación Española de Atletismo por las facilidades dadas para llevar a cabo las filmaciones de los atletas en cada una de las competiciones controladas, así como a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y al centro de Alto Rendimiento Investigación y Ciencias del Deporte por la financiación aportada, y a la Unidad de Biomecánica del CARICD, dirigida por la Dra. Amelia Ferro, por su colaboración al cedernos parte del instrumental para realizar las filmaciones.

Bibliografía

1. **Abdel-Aziz Y.I. y Karara, H.M.** (1971) Direct linear transformation from comparator coordinases into objectspace co rdinases in close range photogrammetry. En *ASP Symposium on close range photogrammetry, (Editado* o por American society of photogrammetry.), ASP, Falis Church, 1-1 8.
2. **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
3. **Best,-R.-J; Bartlett,-R.-M; Morriss,-C.-J** (1993). A three-dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of sports sciences* 1993. 11(4), 315-328. Londres.
4. **Campos,J., Ramón,V.** (1996): Una experiencia sobre le 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, pp.51-86
5. **Campos, J.** (1993). Lanzamiento de Jabalina. En Bravo, J. et al. *Atletismo III. Lanzamientos*. C.O.E., Madrid, pp. 231-286
6. **Hubbard, M.** (1984) Optimal javelin trajectories. *J. Biomech.* 17(10), 777-787.
7. **Ikegami, Y., Et Al.** (1981). Biomechanical analysis

of the javelin throw. *Biomechanics VII-B* (Edited by Morecki, A. and Fidelus, K.), 271-276. Baltimore: University Park Press.

8. **Koltai, J.** (1985). The Javelin Throw. In I.A.A.F. *Athletes in Action*. International Amateur Athletic Federation, London
9. **Menzel, H.J.** (1986): Biomechanics of javelin throwing. *New Studies of Athletics*. IAAF. 3.85-98
10. **Menzel, H.J.** (1987) Transmission of partial momenta in javelin throw. En *Biomechanics X-8*, (Editado por Jonsson, B.), Human Kinetics Publishers, Champaign, 643-647.
11. **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).
12. **Morriss,-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.
13. **Navarro, E.; Campos, J; Chillarón, E.; Vera, P.** (1995). *Análisis biomecánico de los dos mejores atletas españoles de lanzamiento de jabalina.* en ICD, Análisis biomecánico de los lanzamientos en atletismo; nº 1, 47-89. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid.
14. **Whiting, W.C., Gregor, R.J., Halushka, M.** (1991) Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *Int. J. Sport Biomech.* 7(2), 111-124.
15. **Woltring, H.J.** (1986) A Fortran package for generalized, cross validatory spline smoothing and differentation. *Adv. Eng. Software.* 6(2), 104-113.