

Relación entre el desplazamiento en la fase de doble apoyo y la velocidad en el lanzamiento de martillo

M. GUTIÉRREZ-DÁVILA, F.J. ROJAS

Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Granada.

Resumen

El presente estudio surge como respuesta a una controversia que ha existido históricamente sobre el modelo teórico del lanzamiento de martillo. A partir de las fluctuaciones que se producen en la velocidad tangencial del CG del martillo en cada giro, acelerándose durante el período de doble apoyo y reduciéndose sensiblemente durante el periodo de apoyo único, los entrenadores han buscado prolongar el periodo de doble apoyo (Bondartschuk, 1979), aunque otros estudios han puesto de manifiesto que también puede acelerarse durante el periodo de apoyo simple (Dapena (1984, 1989) y, recientemente, se ha puesto de manifiesto que, a medida que aumenta la velocidad del CG del martillo, el tiempo en que el lanzador está en doble apoyo tiende a disminuir, (Gutiérrez, Soto & Rojas, 2002). Se han analizado treinta lanzadores de martillo durante el desarrollo de cinco competiciones Nacionales e Internacionales, utilizándose para el análisis técnicas fotogramétricas tridimensionales (3D) mediante la metodología propuesta por Dapena (1984) y Gutiérrez, Soto & Rojas (2002). Los resultados ponen de manifiesto que existe una correlación entre el desplazamiento angular del martillo durante el periodo de doble apoyo y la velocidad media en el antepenúltimo giro ($R=-0.50$; $p<.005$). Para el segundo giro no se ha encontrado diferencias significativas en la relación entre las variables y para la acción final de lanzamiento se ha obtenido una cierta correlación negativa entre las variables (-0.39 ; $p<0.05$). Finalmente, no se ha encontrado relación entre el desplazamiento angular del martillo y el cambio de velocidad en el periodo de doble apoyo.

Palabras clave: lanzamiento de martillo, biomecánica, fotografía 3D, estadística.

Introducción

En el lanzamiento de martillo, atendiendo a las posiciones que adopta el lanzador en cada vuelta, ésta se puede dividir en dos períodos claramente diferenciados: *doble apoyo*, donde los dos pies permanecen en contacto con el suelo y *apoyo único*, donde el lanzador gira manteniendo un solo apoyo en el suelo. Históricamente se ha dedicado una especial atención a estos dos períodos, basándose en el comportamiento de la velocidad tangencial de la cabeza del martillo durante el lanzamiento, donde se observan unas marcadas fluctuaciones de su velocidad en cada vuelta, acelerándose sólo en el período de doble apoyo y reduciéndose sensiblemente durante el periodo de apoyo único (Kuznetsov, 1965).

Según ese comportamiento de la función velocidad-tiempo de la cabeza del martillo, ha surgido una teoría que pone de manifiesto que el martillo sólo puede acelerarse durante el período de doble apoyo, no teniendo el lanzador posibilidad de influir ac-

tivamente sobre la velocidad del martillo durante el período de apoyo único. Según dicha teoría, los entrenadores han buscado prolongar el período de doble apoyo y, sobre todo, después de los cambios técnicos propuestos por Bondartschuk (1979, 1987). Para ello debería retrasarse el despegue del pie con el suelo y anticipar el apoyo posterior, adelantándose al martillo girando rápidamente la cadera en el mismo sentido de giro que el martillo, provocando así un incremento del periodo de doble apoyo, además de una torsión de tronco al comienzo de la fase de doble apoyo que favorecería la aplicación posterior de momentos de fuerza, aunque también plantearía problemas como la reducción del radio de giro. Para solucionar este problema, el lanzador Yuri Sedykh (Bondartschuk (1987) introdujo ciertos cambios en su técnica que le permitieron aumentar el periodo de doble apoyo y no influir negativamente sobre el radio de giro. Así propuso mantener la anticipación del apoyo con una orientación del pie próxima a la que tiene el martillo en ese instante, evitando el giro total de la cadera.

Como se ha expuesto, la teoría se basa en la creencia de que el lanzador no tiene posibilidad de influir activamente sobre la velocidad del martillo durante el período de apoyo único, por lo tanto, siguiendo esta teoría, la técnica durante el periodo de apoyo único se basa en que el lanzador debe preceder al martillo hasta que éste alcance el punto más alto de su trayectoria. Tan importante es este aspecto de la técnica que el nivel técnico de un lanzador es dependiente de la reducción de velocidad tangencial que se produce en el martillo durante esta fase.

Cuando la teoría basada en alargar el periodo de doble apoyo estaba asumida por los entrenadores, Dapena (1984, 1986, 1989), basándose en los mismos datos de los que partía la teoría anterior, analizó las causas que podrían provocar las marcas fluctuaciones que aparecían en la función velocidad-tiempo del CG del martillo durante el lanzamiento. Partió del análisis de la trayectoria descrita por el CG del martillo en cada giro, donde se observa un movimiento de rotación a través de un eje que está inclinado con respecto al plano horizontal, más una traslación del sistema lanzador más martillo a través del círculo. Al estar el eje de rotación del CG del martillo inclinado, éste tendrá una trayectoria ascendente, donde la gravedad actúa reduciendo su velocidad y otra descendente donde la gravedad acelera al martillo. Por otra parte, al existir un desplazamiento del CG del sistema a través del círculo, cuando el sentido de la velocidad tangencial del CG del martillo coincide con la velocidad tangencial del CG del sistema, la velocidad tangencial del CG del martillo tiende a incrementarse, mientras que cuando los sentidos de desplazamiento son contrarios, la velocidad tangencial del CG del martillo tiende a reducirse.

Cuando se considera el efecto combinado de la gravedad y el movimiento horizontal del CG del sistema lanzador más martillo, las fluctuaciones de la velocidad tangencial del CG del martillo tienden a desaparecer, aunque no en todos los lanzadores analizados (Dapena, 1986). De los resultados de las investigaciones de Dapena (1984, 1986) y Dapena and McDonald (1988), se pone de manifiesto que el martillo también puede acelerarse durante el periodo de apoyo único mediante transferencia del momentos angulares, lo que contradice la teoría propuesta por Kuznetsov, (1965) y Bondartschuk, (1987).

Los estudios llevados a cabo en nuestro laboratorio con lanzadores de diferentes niveles (Gutiérrez y Soto, 1993, 1994 y Gutiérrez, Soto & Rojas, 2002), nos han permitido comprobar como el despla-

miento del martillo durante el periodo de doble apoyo tiende a reducirse en aquellos lanzadores de mayor nivel y que la velocidad tangencial del CG del martillo al final del lanzamiento está más relacionada con el incremento de la velocidad angular del sistema lanzador más martillo. Basándonos en dichas observaciones y las controversias que se derivan de las teorías expuestas, en este estudio pretendemos poner de manifiesto la existencia de una relación inversa entre el desplazamiento angular del martillo durante el periodo de apoyo doble y la velocidad tangencial media de la cabeza del martillo en cada giro.

Método

Se han analizado 29 lanzadores de martillo durante el desarrollo de la Spar European Cup- Super League (Madrid-1996), el Campeonato del Mundo (Sevilla-1999) y tres campeonatos de España (1995-Madrid; 1996-Málaga y 2001-Valencia). Durante el transcurso de las competiciones mencionadas se filmaron todos los intentos válidos que se realizaron en las pruebas del lanzamiento de martillo, seleccionándose para su análisis el de mayor alcance para cada lanzador.

Para este estudio, se han utilizado técnicas fotogramétricas tridimensionales (3D) a partir de la filmación del gesto con dos cámaras de video a 50 imágenes por segundo. Para obtener las coordenadas espaciales de los 21 puntos que determinan el cuerpo del lanzador más el que corresponde al centro de la cabeza del martillo, con respecto a un sistema de referencia inercial (R1), se ha utilizado la metodología propuesta por Gutiérrez, Soto & Rojas (2002). Posteriormente, basándonos en la metodología propuesta por Dapena (1984), a partir de las coordenadas espaciales obtenidas, se han determinado otras coordenadas espaciales relativas a un sistema de referencias *casi-inercial* (R2) cuyo origen está asociado al centro de gravedad del sistema lanzador más martillo (CGs) y, por lo tanto, se desplaza con éste a lo largo del lanzamiento, manteniendo ciertas fluctuaciones.

Se han calculado tres factores: a) El desplazamiento angular del martillo en el periodo de doble apoyo del penúltimo y antepenúltimo giro ($\delta_{DS(n-1)}$ y $\delta_{DS(n-2)}$, respectivamente), así como de la acción final de lanzamiento (δ_F), b) La velocidad media de la cabeza del martillo en el penúltimo y antepenúltimo giro ($v_{M(n-1)}$ y $v_{M(n-2)}$, respectivamente) y durante la acción final ($v_{M(F)}$) y c) El cambio de velocidad de la cabeza del martillo durante el periodo de doble apoyo del penúltimo y antepenúltimo giro ($\Delta v_{DS(n-1)}$)

y $\Delta v_{DS(n-2)}$, respectivamente), así como durante la acción final de lanzamiento (Δv_F).

Para calcular el desplazamiento angular del martillo durante los períodos de doble apoyo y la acción final de lanzamiento (δ_{DS} y δ_F , respectivamente), se ha utilizado el concepto de ángulo azimutal, introducido por Samozvetov (1971), donde el lanzamiento se observa desde una perspectiva superior como una circunferencia graduada donde la dirección 0-180° es coincidente con la bisectriz del ángulo que determina el sector de lanzamiento, según las coordenadas referidas al sistema de referencias R2. Mediante esta circunferencia graduada se determina la posición angular de la cabeza del martillo en el instante de tomar contacto el pie

con el suelo y en el instante de su posterior pérdida de contacto en cada giro o suelta del martillo en el caso de la acción final de lanzamiento, siendo (δ_{DS} , δ_F) los grados de desplazamiento registrados, en cada caso.

Resultados

En la tabla 1 se presenta la estadística descriptiva de las variables analizadas en cada giro y durante la acción final de lanzamiento. En todos los casos se ha observado una desviación típica relativamente elevada, por lo que se puede inferir una elevada variabilidad entre los sujetos con respecto a las variables propuestas, lo que parece lógico si

VARIABLES GIROS						
N = 29	(n-2)		(n-1)		(n)	
	M	SD	M	SD	M	SD
δ (°)	184.24	17.36	171.93	16.08	211.69	18.28
v_M (ms ⁻¹)	19.39	2.30	21.43	2.45	23.73	2.32
Δv (ms ⁻¹)	3.99	1.24	4.11	1.53	5.58	1.54

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables analizadas en el antepenúltimo giro (n-2), penúltimo giro (n-1) y durante la acción final del lanzamiento (n).

VARIABLES	δ (°)					
	(n-2)		(n-1)		(n)	
	<i>r</i>	<i>SE</i> _(est.)	<i>r</i>	<i>SE</i> _(est.)	<i>r</i>	<i>SE</i> _(est.)
v_M (ms ⁻¹)	-0.503**	15.28	-0.228	15.95	-0.386*	17.01
Δv (ms ⁻¹)	-0.268	17.03	-0.04	16.36	-0.049	18.59

* Significant at p<0.05; ** Significant at p<0.01; *** Significant at p<0.001

Tabla 2. Tabla resumen de los coeficientes de correlación del desplazamiento angular de la cabeza del martillo durante el periodo de doble apoyo (δ) en función de la variación producida en la velocidad media (v_M) y el incremento de velocidad durante el periodo de doble apoyo (Δv) en el antepenúltimo giro (n-2), penúltimo giro (n-1) y durante la acción final del lanzamiento (n).

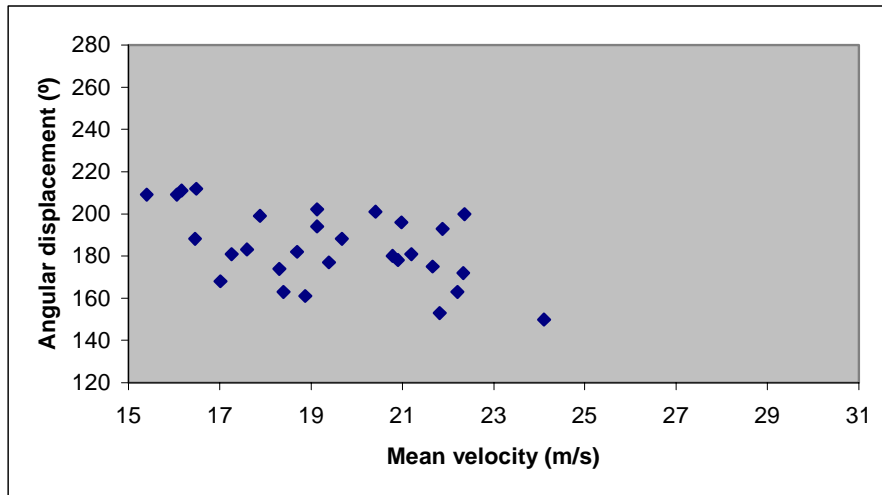


Figura 1. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre la velocidad media de la cabeza del martillo en el antepenúltimo giro ($v_{M(n-2)}$) y su desplazamiento angular durante la fase de doble apoyo ($\delta_{DS(n-2)}$).

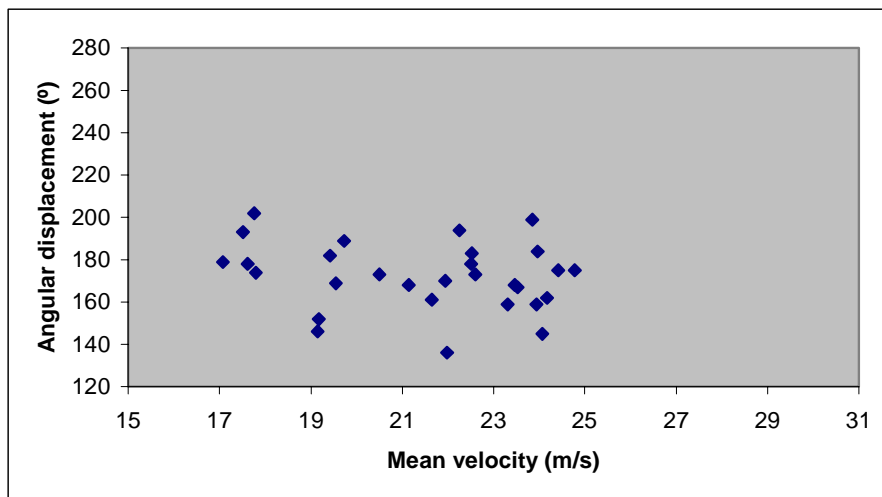


Figura 2. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre la velocidad media de la cabeza del martillo en el penúltimo giro ($v_{M(n-1)}$) y su desplazamiento angular durante la fase de doble apoyo ($\delta_{DS(n-1)}$).

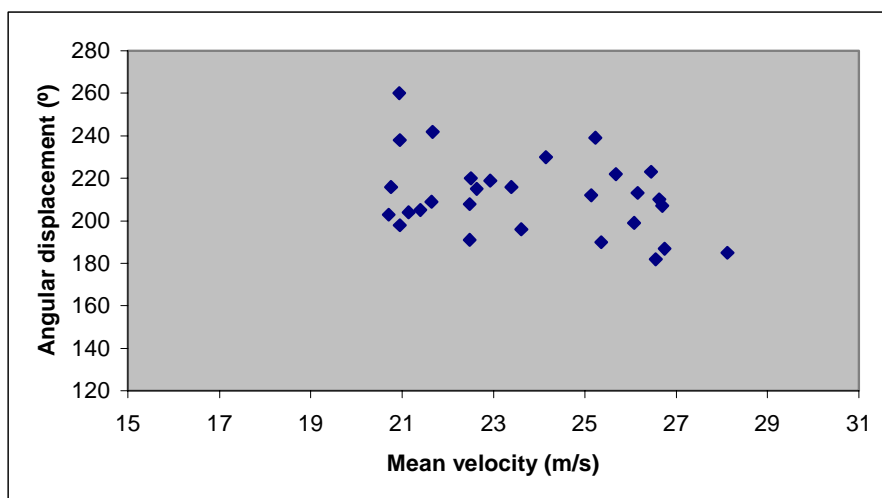


Figura 3. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre la velocidad media de la cabeza del martillo durante la fase final de lanzamiento ($v_{M(F)}$) y su desplazamiento angular (δ_F).

consideramos que el alcance de los lanzamientos analizados varía desde una distancia mínima de 52.12 m a un alcance máximo de lanzamiento de 80.24 m ($M = 67.34$; $SD = 8.63$), además de la variabilidad intrasujeto como consecuencia de la utilización de un estilo propio o técnica individual.

En la Tabla 2 se presenta el resumen de los coeficientes de correlación entre el desplazamiento angular de la cabeza del martillo durante el periodo de doble apoyo (δ) y la velocidad media de la cabeza del martillo (v_M) en los dos últimos giros y la acción final de lanzamiento, donde se pone de manifiesto que durante el antepenúltimo giro (n-2), donde las velocidades medias son más lentas (tabla 1), a medida que aumenta la velocidad media de giro, el desplazamiento angular de la cabeza del martillo, durante el periodo de doble apoyo, tiende a disminuir ($p < 0.01$). La dispersión de los datos y la recta de regresión se presentan en la figura 1. Esta relación inversa entre las variables disminuye para el penúltimo giro, cuando la velocidad media de la cabeza del martillo se incrementa, llegando a no ser estadísticamente significativa, lo que se presenta en la Figura 2.

Durante la acción final de lanzamiento se pone de manifiesto que existe una cierta relación inversa entre las variables descritas ($p < 0.05$), aunque se ha encontrado una cierta correlación inversa entre el instante de la suelta, expresado en ángulo azimutal, y la velocidad media en la acción final de lanzamiento ($r = -0.391$; $p < 0.05$), lo que pone de manifiesto que la correlación negativa entre el desplazamiento angular durante el periodo de doble apoyo (δ_F) y la velocidad media en la acción final ($v_{M(F)}$) se produce como consecuencia de que, en lanzamientos de poco alcance, éste tiende a acompañar más tiempo al martillo al final del lanzamiento cuando éste ya está en una trayectoria tangencial y la posibilidad de seguir acelerando al martillo es muy reducida. En la Figura 3 se presenta la dispersión de los datos y la recta de regresión entre el desplazamiento angular (δ_F) y la velocidad media en la acción final ($v_{M(F)}$).

Con respecto a la relación entre el desplazamiento angular de la cabeza del martillo (δ) y el cambio de velocidad (Δv) durante el periodo de doble apoyo, no se han encontrado coeficientes de correlación que nos permitan confirmar la existencia de una cierta relación entre las variables, lo que pone de manifiesto que el desplazamiento angular de la cabeza del martillo durante el periodo de doble apoyo no está relacionado con la aceleración que se producen en esta fase.

Discusión

Según los datos expuestos, no se ha encontrado un valor estadísticamente significativo que nos permita confirmar la existencia de una relación entre el desplazamiento angular de la cabeza del martillo y el cambio de velocidad producido durante los periodos de doble apoyo (tabla 2), por lo que no podemos afirmar que el hecho de prolongar el periodo de doble apoyo sea un factor que contribuya de forma significativa en el resultado del lanzamiento, como históricamente habían interpretado los entrenadores a partir de las aportaciones de Kuznetsov (1965) y Bondartschuk (1987).

La relación encontrada entre desplazamiento angular de la cabeza del martillo durante el periodo de doble apoyo (δ) y la velocidad media de la cabeza del martillo (v_M) en el antepenúltimo giro (n-2), pone de manifiesto que aquellos lanzadores que alcanzan una velocidad media superior en este giro tienden a reducir el periodo de doble apoyo, lo que nos hace pensar que a velocidades lentas podría ser adecuado prolongar este periodo, aunque, cuando se incrementa la velocidad media, como ocurre en el penúltimo giro ($M = 21.43$; $SD = 2.45$), el desplazamiento angular se reduce significativamente con respecto al giro anterior ($F = 19.58$; $p < 0.001$) y su correlación con la velocidad media deja de ser estadísticamente significativa, lo que nos permite pensar que cuando el martillo alcanza una cierta velocidad, su desplazamiento angular durante el periodo de doble apoyo tiende a estabilizarse en unos valores medios e inferiores que los conseguidos cuando la velocidad media del martillo es menor.

Posiblemente, el hecho de prolongar el periodo de doble apoyo, adelantándose al martillo, con el propósito de buscar una mayor aceleración en esta fase, como proponen Kuznetsov (1965) y Bondartschuk (1987), sea una buena solución en los primeros giros, cuando la velocidad tangencial del CG del martillo es relativamente pequeña. Pero, a medida que se incrementa la velocidad tangencial del CG del martillo, adelantar exageradamente el apoyo, podría producir una cierta reducción de la velocidad angular del sistema lanzador más martillo, así como aparecer ciertos momentos de fuerza contrarios a su desplazamiento angular, lo que perjudicaría al lanzamiento.

Si se ha sugerido que el desplazamiento angular del martillo durante el periodo de doble apoyo tiende a mantenerse en unos valores medios cuando se incrementa la velocidad, podría sorprender que exista una cierta correlación negativa ($p < 0.05$) entre el

desplazamiento angular (δ_p) y la velocidad media en la acción final ($v_{M(F)}$), como se pone de manifiesto en la tabla 2 y la figura 2. Aunque el coeficiente de correlación es relativamente bajo y la significación escasa entre las variables indicadas, la existencia de una correlación inversa entre el instante de la suelta, expresado en ángulo azimutal, y la velocidad media en la acción final de lanzamiento ($r = -0.391$; $p < 0.05$), nos permite inferir que esta relación se produce como consecuencia de que el lanzador, cuando llega con una velocidad más reducida a la acción final de lanzamiento, tiende a acompañar más tiempo al martillo al final del lanzamiento cuando éste ya está en una trayectoria tangencial y la posibilidad de seguir acelerando al martillo es muy reducida, mientras que cuando la velocidad media en esta fase final es elevada, el lanzador tiende a realizar la suelta en un punto que le permita alcanzar la zona de lanzamientos y acompañarlo más allá de ese punto.

Bibliografía

1. **Bondartschuk, A.P.** (1979). Die moderne technik beim hammerwerfen. *Leichtathletic, österreich*, 2, 3, 22-23.
2. **Bondartschuk, A.P.** (1987). La técnica moderna en el lanzamiento de martillo. *Cuadernos de Atletismo*, 20, 65-72.
3. **Dapena, J.** (1984). The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations. *Journal of Biomechanics*. 17, 8, 553-559.
4. **Dapena, J.** (1986). A kinematic study of center of mass motion in the hammer throw. *Journal of Biomechanics*. 19, 2, 147-158.
5. **Dapena, J.** (1989). Influence of direction of the cable force and of the radius of the hammer path on speed fluctuations during hammer throwing. *Journal of Biomechanics*. 22, 6, 565-575.
6. **Dapena, J. & McDonald, G.** (1989). A three-dimensional analysis of angular momentum in the hammer throw. *Medicine and science in sports and exercise*. 21, 2, 206-220.
7. **Gutiérrez, M. y Soto, V.M.** (1993). Análisis biomecánico del lanzamiento de martillo (primera parte). *Apunts Medicina de l'Esport*. XXX, 275-287.
8. **Gutiérrez, M. y Soto, V.M.** (1994). Análisis biomecánico del lanzamiento de martillo (primera parte). *Apunts Medicina de l'Esport*. XXXI, 47-60.
9. **Gutiérrez, M., Soto, V.M. and Rojas, F.J.** (2002). A biomechanical analysis of the individual techniques of the hammer throw finalists in the Seville Athletics World Championship 1999. *IAAF New Studies in Athletics*, 17:2, 15-23.
10. **Kuznetsov, V.** (1965). "Path and speed of the hammer in the turns. *Legk. Atletika*. 11, 11-12.
11. **Samozvetov, A.** (1974). The acceleration of the hammer. *The Throws* (Ed. Wilt, F.), 87-90. Tafnews, Los Altos, CA.