

# Valoración biomecánica de la acción de los brazos y pierna libre en saltadores de altura de élite

ROJAS, F.J. \*, CEPERO, M. \*\*, SOTO, V.M. \* Y GUTIÉRREZ-DÁVILA, M. \*

\*Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada.

\*\*Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal. Universidad de Granada.

## Resumen

*El objetivo del presente estudio ha sido cuantificar cómo los saltadores de altura de élite utilizan sus brazos y pierna libre para incrementar la velocidad vertical del centro de gravedad en el despegue. Este estudio ha sido llevado a cabo sobre una muestra de seis saltadores utilizando el análisis cinematográfico tridimensional y aplicando el método del momento relativo (Lees, A. y Barton, G. 1996) para valorar la acción de los segmentos libres. Los valores de los picos del momento relativo han sido, del brazo más cercano a la barra de  $9.3 \text{ kg m s}^{-1}$ , del brazo más lejano  $11.2 \text{ kg m s}^{-1}$  y la pierna libre  $17.4 \text{ kg m s}^{-1}$ . En el momento inicial de la batida la pierna libre ha obtenido un momento relativo positivo en contraste con el momento negativo que obtenían los brazos. Durante la batida el momento relativo alcanzó un pico de  $40.31 \text{ kg m s}^{-1}$ , en el 63% del tiempo que duró la batida. Los brazos han tenido una mayor contribución al momento relativo final del cuerpo que la pierna libre debido al mayor incremento que se ha producido en el momento relativo durante la batida.*

*Las diferencias en el momento generado por los segmentos y el momento total del cuerpo alcanzó el 9.3 %, valor que ha sido considerado como la contribución de los segmentos libres al rendimiento del salto.*

**Palabras Clave:** Salto de altura, análisis biomecánico, momento relativo.

## Introducción

La acción de los brazos y pierna libre durante la batida en las pruebas de saltos es considerada como determinante en el rendimiento en estas disciplinas atléticas, en donde la acción de estos segmentos proporciona por un lado, un incremento del rendimiento y por otro lado, un mayor control del movimiento corporal. En salto de altura podríamos resumir que el rendimiento se logra a partir de la producción de un momento angular determinado y una velocidad vertical que permita alcanzar la altura suficiente para franquear el listón. Es conocido que la velocidad vertical del centro de gravedad (CG) en el despegue es la variable que mayor incidencia tiene en la altura alcanzada y cuanto más velocidad

vertical tengan los brazos y pierna libre en el momento del despegue mayor será la velocidad vertical del CG (Dapena, 1993). Además, durante la batida la acción de los brazos y pierna libre genera unas fuerzas internas que son transmitidas a través del cuerpo hacia el pie de batida, las cuales van a actuar favorablemente durante la contracción muscular creando mayores fuerzas de reacción (Dapena, 1993 y Yu y Andrews, 1998).

La acción de los segmentos libres en salto de altura ha sido analizada utilizando métodos cinemáticos. Para la cuantificación del movimiento de los segmentos libres han existido dos aproximaciones. La primera es la determinación de lo que Dapena (1987) definió como actividad de los segmentos, como la diferencia entre la mínima y la máxima velocidad vertical del CG de cada segmento libre con respecto al CG del tronco durante toda la batida. En este estudio se recogieron valores de hasta 11 m/s. La velocidad vertical de los segmentos nos aporta cuál es la actividad de estos segmentos, pero es necesario relativizarlos con respecto a la velocidad vertical total del sistema. La

### Correspondencia:

F.Javier Rojas Ruiz

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

Carretera de Alfacar s/n 18011 Granada

e-mail: fjrojas@ugr.es

segunda aproximación consiste en el método que Ae y Shibukawa (1980) han denominado momento relativo, el cual permite comparar cual es la contribución de cada segmento al momento total que adquiere el sistema. El momento vertical relativo de cada segmento es definido como el producto de la masa del segmento y su velocidad vertical con respecto a su articulación proximal.

Existen dos estudios (Ae et al. 1983 y Vint y Hinrichs, 1996) en los cuales esta aproximación a la cuantificación de la acción de los brazos se ha realizado en sujetos que no pertenecían al alto rendimiento y que realizaban saltos sobre una o dos piernas sin tener que superar ninguna meta. El objetivo de este estudio ha estado relacionado con la identificación de las características cinemáticas individuales de la acción cada segmento su interrelación y su implicación en el rendimiento del salto de altura de atletas de alto rendimiento en la disciplina de salto de altura.

## Método

### *Muestra*

Los atletas seleccionados se han correspondido con seis atletas masculinos filmados durante el Gran premio Ciudad de Granada. Las características antropométricas de los saltadores y el rendimiento en el salto analizado se muestran en la Tabla I. Todos los saltadores utilizaron la pierna izquierda durante la batida del salto.

Los saltos fueron filmados simultáneamente por dos cámaras de cine. La primera, una Bealieu R-16 con una frecuencia de muestreo de 60 Hz colocada perpendicular al listón a una distancia de 31 m. La segunda cámara se trata de un Photo-Sonics 16-1PL con una frecuencia de muestreo de 50 Hz, colocada a una distancia de 36 m paralela a la barra. Las imágenes tomadas permitían analizar el salto desde la última batida hasta la fase de vuelo del salto, analizándose el mejor salto de cada uno de los seis atletas.

### *Obtención de datos*

El modelo mecánico utilizado se ha correspondido por sistema mecánico de 14 segmentos definidos por 21 puntos. Las coordenadas de cada punto se obtuvieron mediante las correspondientes digitalizaciones de las imágenes obtenidas por cada cámara. Las coordenadas digitalizadas se suavizaron, interpolaron y sincronizaron a una

muestra equivalente a 100 Hz utilizando splines de quinto orden (Wood y Jennings, 1979). Las coordenadas tridimensionales se calcularon utilizando el procedimiento de DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971).

Una vez obtenidas las coordenadas tridimensionales se utilizó un programa lógico para obtener los resultados utilizando los parámetros inerciales propuestos por Dempster (1955).

La acción de los segmentos libres fue analizada, utilizando la siguiente terminología, pierna libre, se corresponde con la extremidad inferior que no realiza la batida en los casos analizados se ha correspondido con la pierna derecha del saltador, brazo derecho, el más cercano al listón y brazo izquierdo el más alejado al listón según los saltos efectuados por la muestra. El estudio de la acción de los brazos y pierna libre se ha efectuado siguiendo el método de momento relativo utilizado por Ae y Shibukawa (1980). Este método considera el momento vertical relativo de un segmento como la suma del momento relativo transferido más el momento relativo propio del segmento:

$$m_L V_L = m_L V_{PJ} + m_L V_{L/PJ}$$

donde  $m_L$  es la masa del segmento,  $V_L$  se corresponde con la velocidad vertical del centro de masa del segmento,  $V_{PJ}$  es la velocidad vertical de la articulación proximal y  $V_{L/PJ}$  es la velocidad relativa de  $V_L$  con respecto a  $V_{PJ}$ . El término  $(m_L V_{PJ})$  representa el momento transferido del segmento debido al movimiento de la articulación proximal, y el término  $(m_L V_{L/PJ})$  representa el momento relativo propio del segmento.

## Resultados y discusión

La Figura 1 muestra el momento relativo desarrollado por cada segmento libre y la suma de todos ellos durante el periodo de tiempo de la batida.

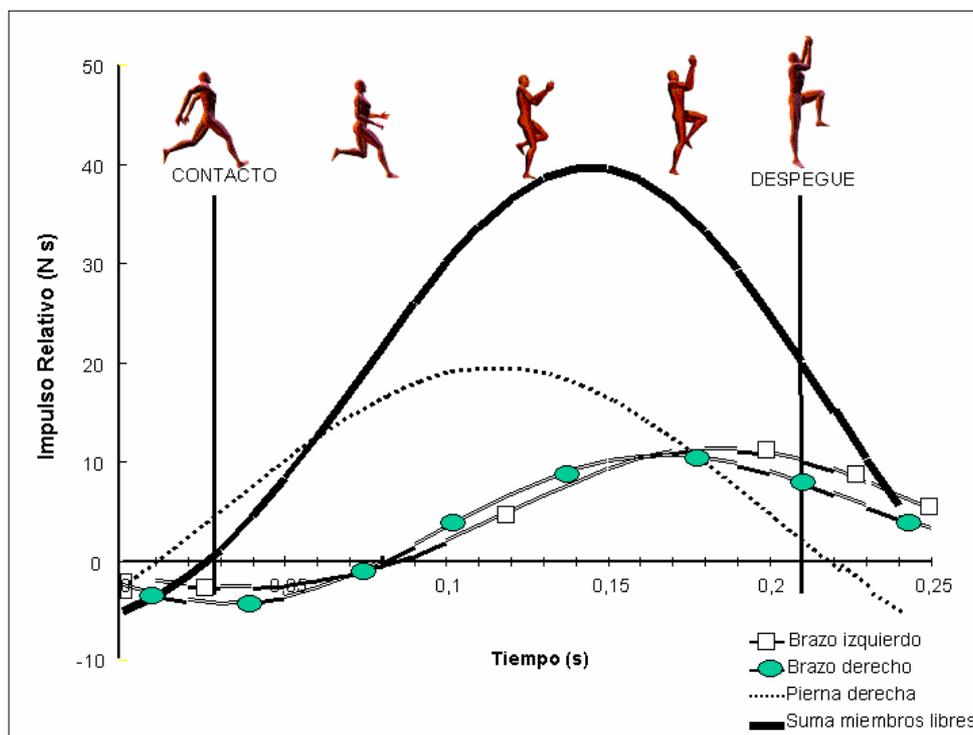
Según muestra la gráfica el momento relativo de los brazos en el momento del contacto es negativo lo que nos indica que se están moviendo hacia abajo, este movimiento hacia abajo tiende a atenuar las fuerzas de impacto que se ocasionan en el impacto inicial de la batida mediante la reducción de la desaceleración de la velocidad del centro de gravedad corporal (Ae et al, 1983). Mientras que el momento relativo de la pierna es positivo, reflejando un movimiento de la pierna hacia arriba. El hecho de observar una mayor actividad de la pierna durante las fases iniciales de la batida nos

**Tabla I.** - Datos antropométricos de cada atleta y salto analizado.

Nombre	Estatura	Masa	Altura del salto
Austin, C.	1,83	76	2,33
Sotomayor, J.	1,93	83	2,30
Malchenco, S.	1,91	82	2,30
Drake, M.	1,91	77	2,25
Dakov, G.	1,92	72	2,20
Ortiz, A.	1,93	74	2,20
<b>media</b>	<b>1,91</b>	<b>77,33</b>	<b>2,26</b>
<b>d.t.</b>	<b>0,04</b>	<b>4,37</b>	<b>0,06</b>

**Tabla II.** - Resultados obtenidos por cada segmento libre y el sumatorio de los segmentos

Sujeto	Brazo derecho		Brazo izquierdo		Pierna derecha		Total de los miembros libres	
	Ns	%	Ns	%	Ns	%	Ns	%
Austin, C.	10,10	79,0	11,40	73,7	24,10	52,6	45,60	63,16
Sotomayor, J.	10,99	82,4	13,46	88,2	28,76	52,9	53,21	76,47
Malchenco, S.	9,83	75,0	10,20	68,8	19,13	37,5	39,16	62,50
Drake, M.	11,74	83,3	11,07	72,2	25,58	44,4	48,39	61,11
Dakov, G.	7,71	64,7	10,58	70,6	17,82	35,3	36,11	58,82
Ortiz, A.	5,51	88,2	10,47	88,2	16,92	29,4	32,93	58,82
<b>media</b>	<b>9,31</b>	<b>78,8</b>	<b>11,20</b>	<b>77,0</b>	<b>17,39</b>	<b>42,0</b>	<b>40,31</b>	<b>63,48</b>
<b>D.T.</b>	<b>2,31</b>	<b>8,2</b>	<b>1,19</b>	<b>8,9</b>	<b>4,12</b>	<b>9,6</b>	<b>10,79</b>	<b>6,62</b>



**Figura 1.** - Momento relativo vertical de cada segmento libre y la suma de todos durante la batida del salto de Austin.

conduce a deducir que su acción no está encaminada a incrementar la velocidad vertical del CG en el despegue y si a generar momento angular. Por otro lado la acción de los brazos durante la batida incrementa las fuerzas radiales, incrementando la velocidad de la contracción excéntrica de la pierna de batida y por tanto su capacidad para generar tensión, en la fase final de la batida la acción vigorosa de los brazos hacia arriba incrementa la velocidad de salida del CG corporal (Vint y Hinrichs, 1996).

En la Tabla II se muestran los resultados obtenidos por cada segmento libre y el sumatorio de los segmentos. Según los datos obtenidos se puede observar una acción más vigorosa del brazo más alejado del listón (brazo izquierdo) con respecto al brazo más cercano al listón datos coincidentes con la acción de los brazos aportada por Dapena (1988). En cuanto a la pierna libre y debido a su mayor masa, alcanza mayores valores del momento relativo, finalmente en la tabla se muestra el porcentaje de tiempo en el cual se alcanza el máximo valor del momento relativo de la suma de los segmentos libres.

En la Tabla III se presentan los momentos relativos totales de la suma de los segmentos libres, el momento total del cuerpo en el instante del despegue y la contribución de los segmentos libres al momento total del cuerpo utilizando las aproximaciones de Ae y Shibukawa (1980) y las interpretaciones sugeridas por Lees y Barton (1996).

En la Figura 2 se distingue la relación entre el momento total del cuerpo y el sumatorio de todos los segmentos libres, destacando que el pico máximo de contribución segmentaria se localiza en el 63% del tiempo de la batida.

### Conclusiones

En relación a la técnica utilizada en salto de altura, la interacción entre los brazos y las pierna libre parece no ser la óptima para alcanzar la máxima velocidad vertical de salida del centro de gravedad en el momento de despegue del pie del suelo ya que la máxima velocidad de la pierna se desarrolla sobre el 42% del tiempo de la batida, mientras que los brazos alcanzan la máxima velocidad sobre el 78% del tiempo de la batida.. Por ello, podemos determinar que la actividad de la pierna libre se dirige fundamentalmente a la generación de momento angular necesario para sobrepasar el listón.

Por otro lado, la acción de los brazos está encaminada a conseguir una mayor velocidad vertical en el despegue y mejorar las condiciones de la contracción muscular durante la batida.

La aplicación del método nos permite conocer la incidencia de los segmentos libres en el salto de altura, siendo ésta del 9.3% sobre el rendimiento del salto de altura, considerando que éste se encuentra proporcionalmente relacionado con la velocidad vertical de salida del centro de gravedad.

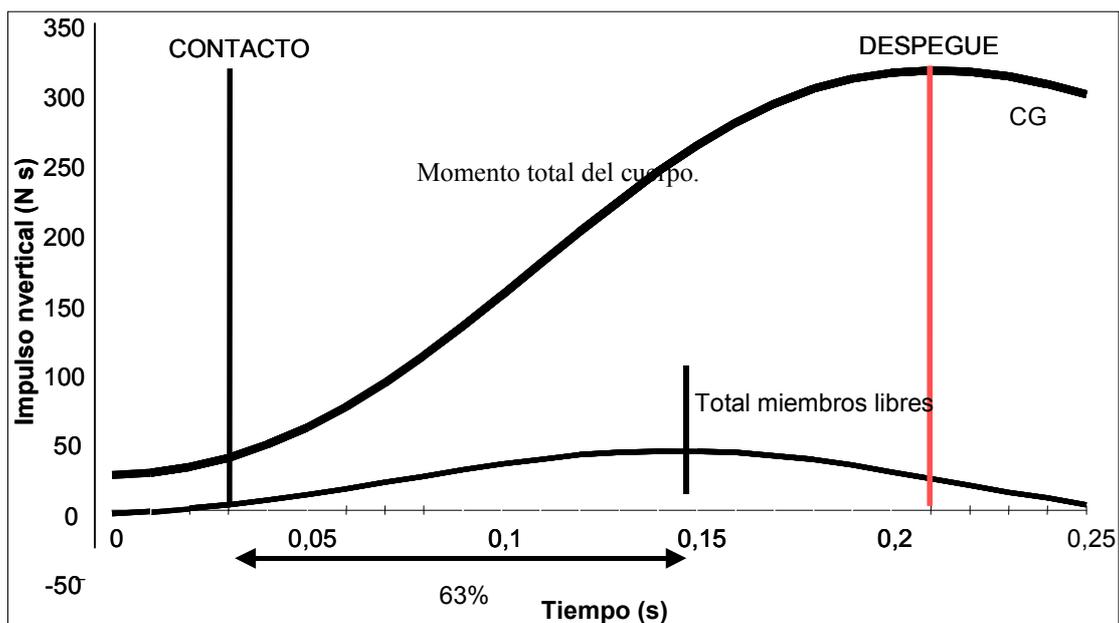


Figura 2.- Momento relativo total del cuerpo y de los segmentos libres.

## Bibliografia

1. **Abdel-Aziz, Y. I. L. and Karara, H. M.** (19-71) Direct linear transformation from comparator coordinates into the object space coordinates in close range photogrammetry, ASP Symposium on Close Range Photogrammetry, Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry.
2. **Ae, M. and Shibukawa, K.** (1980) A biomechanical analysis of the segmental contribution to the take off of the one-legged running jump for height, in H. Matsui and K. Kobayashi (eds), Biomechanics VIII-B (Champaign, IL: Human Kinetic Publishers).
3. **Ae, M., Shibukawa, K., Tada, S. y Hashihara, Y.** (1983), A biomechanical method for the analysis of the contribution of the body segments in human movement, *Japanese Journal of Physical Education*, 25, 233-243.
4. **Dapena, J.** (1987), Basic and applied research in the biomechanics of high jumping, in B. Van Gheluwe and J. Atha (eds), Current Research in Sports Biomechanics (Basle: Karger).
5. **Dapena, J.** (1988) Biomechanical analysis of the Fosbury Flop, Track Technique, 104, 3307-3317.
6. **Dapena, J.** (1993), Biomechanical studies in the high jump and implications for coaching, Modern Athlete and Coach, 31, 7-12.
7. **Dempster, W. T.** (1955) Space requirements of the Seated Operator. Report WADCTR 55 159, Wright Patterson Air Force Base, Dayton, OH.
8. **Lees, A. y Barton, G.** (1996) The interpretation of relative momentum data to assess the contribution of the free limbs to the generation of vertical velocity in sports activities, *Journal of Sports Sciences*, 14, 503-511.
9. **Vint, P. F. y Hinrichs, R. N.** (1996), Differences between one foot and two foot vertical jump performances, *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 338-358.
10. **Wood, G. A. y Jennings, L. S.** (1979), On the use of spline functions for data smoothing, *Journal of Biomechanics*, 12, 477-479.
11. **Yu, B. y Andrews, J. G.** (1998), The relationship between free limb motions and performance in the triple jump, *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 223-227.