

# ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE BATIDA ENTRE FINALISTAS, HOMBRES Y MUJERES, DEL CAMPEONATO DEL MUNDO DE ATLETISMO EN PISTA CUBIERTA 2008.

Campos J<sup>1</sup> (Jose.Campos@uv.es), Gámez J<sup>2</sup> (Javier.Gamez@ibv.upv.es),  
Encarnación E<sup>2</sup> (Alberto.Encarnacion@ibv.upv.es), Gutiérrez-Dávila M<sup>3</sup>  
(marcosgd@ugr.es), Rojas J<sup>3</sup> (fjrojas@ugr.es)

<sup>1</sup> Universidad de Valencia

<sup>2</sup> Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV)

<sup>3</sup> Universidad de Granada

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar los factores que afectan a la batida del salto de longitud. Se analizan a los saltadores que participaron en las finales masculina y femenina del Campeonato del Mundo de Atletismo en Pista Cubierta Valencia'2008. Se utilizan técnicas fotogramétricas 3D con la ayuda de dos cámaras de video de alta velocidad sincronizadas filmando a una frecuencia de 125 Hz. Los resultados ponen de manifiesto modelos técnicos similares entre hombres y mujeres a excepción de las variables relacionadas con la velocidad horizontal ( $p < .001$ ) junto a una variable técnica como el ángulo de implantación de la pierna de batida ( $p < .01$ ).

Para el conjunto de la muestra el análisis correlacional muestra relaciones significativas acordes con los modelos teóricos de referencia en el que la distancia de salto se relaciona de forma significativa con la velocidad de la carrera de aproximación ( $p < .001$ ), con la velocidad horizontal del CG en el instante de despegue ( $p < .001$ ), el pico de velocidad vertical ( $p < .01$ ) y el valor mínimo de velocidad horizontal ( $p < .001$ ), el ángulo de implantación de la pierna de batida ( $p < .05$ ) y la velocidad horizontal del CG en los tres instantes temporales, T1 ( $p < .001$ ), T2 ( $p < .001$ ) y T3 ( $p < .001$ ). También es destacable la relación significativa entre el rango de flexión de la rodilla y la velocidad de carrera de manera que cuanto mayor la velocidad de carrera, mayor el rango de flexión de la rodilla ( $p < .05$ ). También un mayor rango de flexión de la rodilla favorece el aumento de la velocidad del CG en el instante de despegue ( $p < .05$ ).

Palabras clave: biomecánica, técnica, saltos

## Abstract

The present work aims to study the factors involved in the long jump take-off by comparing the technical standards used for men and women. Jumpers are analyzed in the finals, male and female, at the IAAF World Indoor Championship in Athletics, Valencia'2008. It was used 3D photogrammetric techniques with two high-speed video cameras synchronized at a frame rate of 125 Hz. For the overall sample, correlation analysis shows significant relationships consistent with theoretical models in which the jumping distance significantly correlates with the speed of the approach run ( $p < .001$ ), with the horizontal speed of center of gravity (CG) at the instant of take-off ( $p < .001$ ), the peak vertical velocity ( $p < .01$ ) and the minimum value of horizontal velocity ( $p < .001$ ), the angle of planting the leg at the instant of touch-down ( $p < .05$ ) and the horizontal velocity of the CG in the three time instants, T1 ( $p < .001$ ), T2 ( $p < .001$ ) and T3 ( $p < .001$ ) respectively. Also noteworthy is the significant relationship between the range of flexion of the knee and the approach run velocity so the more the run speed, the greater the range of knee flexion ( $p < .05$ ). Also a greater range of knee flexion favors the increasing of the velocity of the CG at the instant of take-off ( $p < .05$ ).

Regarding differences between groups, the results shows similar technical models for men and women with the exception of the variables related to the horizontal velocity ( $p < .001$ ). Also the angle of planting the leg at the touch-down shows statistical differences between groups ( $p > .01$ ).

Key words: kinematics, technique, jumps

## **1.- INTRODUCCIÓN**

A pesar de su aparente simplicidad, el salto de longitud es una especialidad compleja en su ejecución en la que el saltador dispone de un cortísimo espacio de tiempo en la batida para aprovechar la energía acumulada en la carrera de aproximación.

Ha sido ampliamente descrito en la literatura que la distancia de salto depende de la velocidad alcanzada en la carrera de aproximación, así como de otros factores como la altura, ángulo y velocidad de proyección del centro de gravedad (CG) en el instante del despegue (Hay & Reid 1988, Hay & Nohara 1990, Lees et al 1994, Bridgett et al 2006, Alexander 1990, Seyfart et al 2000). Tras una carrera de aproximación rápida, el rendimiento depende finalmente de la estrategia técnica utilizada por el saltador para el aprovechar la acción de resorte (spring) de la pierna de batida durante el tiempo de apoyo en la tabla (Hay, 1993; Seyfarth, Friedrichs, Wank and Blickhan, 1999).

Una de las consecuencias directas de dicha acción es el intercambio que se produce entre las velocidades horizontal y vertical del centro de gravedad del saltador cuya relación constituye una de las claves del salto. Una acción que se produce, fundamentalmente, en la fase de compresión de la batida y que responde a lo que se ha denominado mecanismo de "pivot" en el que se consigue más del 60% de la velocidad vertical alcanzada en el instante de despegue (Lees, Graham-Smith, & Fowler, 1994). En este sentido, está ampliamente reconocido que la ganancia de velocidad vertical del CG colabora en mayor medida a la distancia de salto que la pérdida de la velocidad horizontal (Brüggemann et al, 1982).

Tomando como referencia la constatación de que existen pocos trabajos en los que se aborde el estudio de las diferencias de género, el objetivo de este estudio es el de describir las técnicas de batida utilizadas por saltadores de élite, hombres y mujeres, y sus posibles diferencias, a través de variables tridimensionales que afectan la fase de batida, con especial atención a los cambios producidos en las componentes espaciales de la velocidad del CG de los saltadores. La singularidad del estudio recae en la toma de datos en una situación real de competición de alto nivel competitivo.

## **2.- MATERIAL Y MÉTODO.**

Se analizaron a los participantes en las finales masculina y femenina del Campeonato del Mundo de Atletismo en Pista Cubierta celebrado en Valencia en 2008 mediante técnicas fotogramétricas tridimensionales, con dos cámaras de video digitales de alta velocidad sincronizadas temporalmente y a una frecuencia de muestreo de 125 Hz. Para el cálculo del centro de gravedad se utilizaron parámetros inerciales de Zatsiorsky and Seluyanov (1983) adaptados por Leva (1996). Se analizaron los mejores saltos de cada finalista, a excepción de los saltadores Mokoena y Atanasov a los que se analizó su segundo mejor salto por problemas

surgidos en el proceso de filmación (tabla 1). La altura del centro de gravedad de los saltadores se ha calculado en términos relativos a partir de su talla.

Para la calibración del espacio se utilizó un sistema de referencia modular de dimensiones 2'60 x 1,26 x 2,40 en el que el eje X representa la dirección medio lateral, el eje Y el horizontal, y el eje Z el vertical. El proceso de digitalización y gestión de variables se realizó con el software Kinescan Digital 1.1 del Instituto de Biomecánica de Valencia.

Para el análisis de la batida se identifican tres instantes temporales de referencia: **Instante del contacto** cuando el pie de batida toma contacto con el suelo; el **instante de la máxima flexión de la rodilla**; y el **instante de despegue**, cuando el pie pierde contacto con el suelo. (figura 1)

A partir de dichos instantes, se consideran las siguientes fases en la batida:

- Fase de compresión: de T1 a T2
- Fase de extensión: de T2 a T3

Figura 1: Instantes de referencia temporal del contacto (T1), máxima flexión de rodilla (T2) y despegue (T3)



Tabla 1: Descripción de la muestra.

Final Hombres	Distancia oficial	Distancia real	Final Mujeres	Distancia oficial	Distancia real
Mokoena (RSA) (*)	8,05 *	8,18	Gomes (POR)	7,00	7,10
Tomlinson (GBR)	8,06	8,11	Maggi (BRA)	6,89	7,07
Al Khuwalidi (KSA)	8,01	8,05	Simagina (RUS)	6,88	6,93
Garenamotse (BOT)	7,93	7,98	Lesueur (FRA)	6,60	6,70
Atanasov (BUL)	7,85 *	7,88	Montaner (ESP)	6,57	6,70
Beckford (JAM)	7,84	7,93	Radevica (LAT)	6,54	6,63
Starzak (POL)	7,74	7,85	Costa (BRA)	6,48	6,55
Martínez (CUB)	7,72	7,83	Josephs (RSA)	6,39	6,45
<b>Media</b>	<b>7,90</b>	<b>7,98</b>	<b>Media</b>	<b>6,67</b>	<b>6,77</b>
<b>Ds</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>ds</b>	<b>0,22</b>	<b>0,24</b>

(\*) Analizado el segundo mejor salto.

El tratamiento estadístico de los datos está basado en análisis descriptivo y correlacional, así como una prueba t para comprobar las diferencias entre hombres y mujeres.

### **3.- RESULTADOS**

De los datos que se presentan en la tabla 1 se concluye que, en el caso de los hombres, el nivel de rendimiento de los saltadores en esta competición fue realmente bajo en la medida que el ganador de la prueba se quedó a más de 70 cms del record del mundo conseguido por Carl Lewis en 1984 con una marca de 8,79 m. En el caso de las mujeres el rendimiento fue superior en la medida que esa diferencia fue menor, con una distancia de 37 cms respecto del record del mundo.

El análisis correlacional para el conjunto de la muestra, hombres y mujeres, muestra que la distancia de salto está relacionada de forma significativa con la velocidad de la carrera de aproximación ( $p < ,001$ ), con la velocidad horizontal del CG en el instante de despegue ( $p < ,001$ ), el pico de velocidad vertical ( $p < ,01$ ) y el valor mínimo de velocidad horizontal ( $p < ,001$ ), el ángulo de implantación de la pierna de batida ( $p < ,05$ ) y la velocidad horizontal del CG en los tres instantes temporales, T1 ( $p < ,001$ ), T2 ( $p < ,001$ ) y T3 ( $p < ,001$ ). También es destacable la relación significativa entre el rango de flexión de la rodilla y la velocidad de carrera de manera que cuanto mayor es la velocidad de carrera, mayor el rango de flexión de la rodilla ( $p < ,05$ ). También un mayor rango de flexión de la rodilla favorece el aumento de la velocidad del CG en el instante de despegue ( $p < ,05$ ). Por último, la confirmación del mecanismo del pivot al encontrar una correlación significativa de signo negativo entre las velocidades horizontal y vertical del CG en el instante de la máxima flexión de la rodilla, al final de la fase de compresión ( $r: -,544 \quad p > ,05$ )

Respecto de las diferencias entre grupos, en la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en las variables principales. Como era de esperar, se han encontrado diferencias significativas, tanto en las velocidades de aproximación, como en las velocidades del centro de gravedad en los tres instantes de referencia, T1, T2 y T3. Comparando las velocidades del CG en el inicio y final de la batida, se observa que a lo largo de la batida los hombres pierden un 7% de la velocidad conseguida en el instante del contacto, mientras que las mujeres son capaces de mantener mejor la velocidad inicial al perder el 5% de la misma.

Por el contrario, no se han encontrado diferencias significativas en el ángulo de proyección del CG ni en la altura relativa del CG en el instante de despegue. Tampoco hay diferencias en los valores alcanzados en la ganancia y pérdida de las velocidades vertical y horizontal del CG durante la batida, respectivamente, poniendo de manifiesto la utilización de un patrón similar de frenado.

Tabla 2: Variables de proyección, ganancia de velocidad vertical y pérdida de velocidad horizontal del CG, para el conjunto de cada categoría.

Variables	Hombres Media $\pm$ DS n: 8	Mujeres Media $\pm$ DS n: 8	P
V_carrera (m.s <sup>-1</sup> )	10,45 $\pm$ 0,21	9,48 $\pm$ 0,22	,000
VCG_t1 (m.s <sup>-1</sup> )	10,24 $\pm$ 0,31	9,04 $\pm$ 0,26	,000
VCG_t2 (m.s <sup>-1</sup> )	8,96 $\pm$ 0,18	8,13 $\pm$ 0,30	,000
VCG_t3 (m.s <sup>-1</sup> )	9,53 $\pm$ 0,35	8,58 $\pm$ 0,24	,000
AngCG_t3 (°)	20,7 $\pm$ 1,62	21,1 $\pm$ 1,81	,628
HCG(rel)_t3 (m)	0,69 $\pm$ 0,02	0,68 $\pm$ 0,02	,231
Ganancia Vz t1-t3 (m.s <sup>-1</sup> )	3,31 $\pm$ 0,43	3,22 $\pm$ 0,26	,628
Pérdida Vy t1-t3 (m.s <sup>-1</sup> )	1,29 $\pm$ 0,36	1,04 $\pm$ 0,17	,100

Por otro lado, en la tabla 3 se presentan las evoluciones de dos de las componentes espaciales del centro de gravedad a lo largo de la batida, así como de la altura y rango de flexo-extensión de la rodilla. Como puede comprobarse, en ambos grupos se da un patrón similar. La velocidad horizontal (Vy) desciende en la fase de compresión un 15% y 14% para el caso de los hombres y mujeres respectivamente, para posteriormente, en la fase de extensión aumentar ligeramente. Por su parte, la velocidad vertical se incrementa de forma progresiva a lo largo de toda la batida con el mayor incremento localizado en la fase de compresión gracias al mecanismo de frenado propiciado por la actividad de la musculatura de la pierna de batida. Por otro lado, la rodilla de la pierna de batida se flexiona hasta conseguir su máxima flexión al final de la fase de compresión, para recuperarse en extensión hasta el instante de despegue.

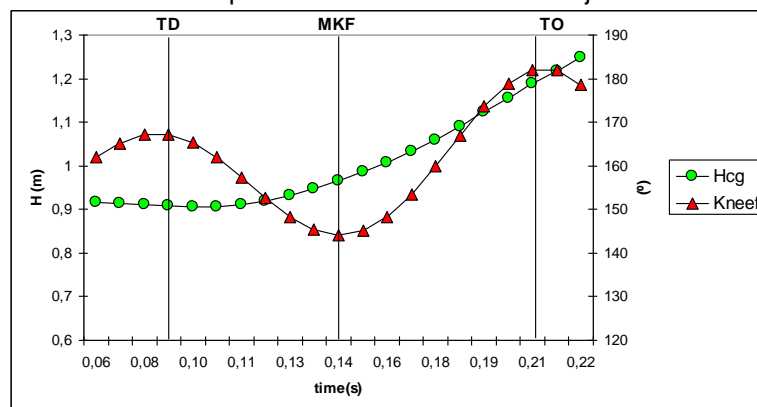
Tabla 3: Ángulo de flexión de la rodilla, altura del CG y componentes espaciales de la velocidad del CG en los instantes de referencia en la batida (Vy: velocidad horizontal; Vz: velocidad vertical)

Variables	Hombres			Mujeres			P
	(T1) Media ds	(T2) Media ds	(T3) Media ds	(T1) Media ds	(T2) Media Ds	(T3) Media ds	
Vy (m.s <sup>-1</sup> )	10,24 0,31	8,73 0,21	8,97 0,38	9,05 0,26	7,81 0,36	8,01 0,27	T1: ,000 T2: ,000 T3: ,000
Vz (m.s <sup>-1</sup> )	-0,11 0,18	2,03 0,30	3,20 0,26	-0,14 0,13	2,23 0,33	3,08 0,22	T1: ,753 T2: ,220 T3: ,369
Ang_rod (°)	166 4,63	141 3,45	175 4,29	163 4,03	142 5,9	176 3,3	T1: ,247 T2: ,512 T3: ,748
HCG_rel (m)	0,52 0,008	0,52 0,01	0,69 0,02	0,52 0,01	0,52 0,01	0,68 0,02	T1: ,312 T2: ,312 T3: ,231

Respecto de las diferencias entre grupos, solo se han encontrado diferencias significativas en las velocidades horizontales del CG en los tres instantes temporales con valores inferiores en el grupo de mujeres. Algo esperado, por su estar condicionado por la velocidad de la carrera de aproximación.

La figura 2 muestra el patrón de uno de los saltadores analizados en la evolución de la flexo-extensión de la rodilla de la pierna de batida y de la altura del CG a lo largo de toda la fase de la batida, que coincide con la general constatación de que el CG del saltador mantiene una línea progresiva de elevación desde el instante del contacto (T1). A pesar de que en la fase de compresión, la rodilla es objeto de una flexión progresiva, el CG del saltador mantiene una línea progresiva de elevación. Se trata de un comportamiento coincidente con otras especialidades de saltos (Dapena and Chung, 1988) provocado por las fuerzas de impacto generadas a raíz del contacto del pie en la tabla de batida, la intervención de los segmentos libres en sus acciones de elevación y de la extensión progresiva de la cadera.

Figura 2: Trayectorias de la velocidad del centro de gravedad del saltador y de la flexo-extensión de la rodilla de la pierna de batida correspondientes al saltador con mejor resultado en la distancia real.



Finalmente, en la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en dos de las variables técnicas utilizadas. Por un lado, la velocidad relativa del tobillo respecto de la velocidad horizontal del CG en el instante del contacto, que expresa el grado de apoyo activo del pie (cuanto más valor positivo, mayor grado de actividad del pie en la batida). Esta variable ha sido descrita en los modelos de Hay and Reid (1988) y de Alexander (1990) presentando al apoyo activo como un aspecto positivo para el salto en la medida que reduce las fuerzas de impacto en la batida. En este caso de muestra un comportamiento similar para ambos grupos sin diferencias significativas. Por el contrario, en el ángulo de implantación de la pierna de batida se han encontrado diferencias significativas ( $p: ,009$ ) de manera que las mujeres utilizan un ángulo menor ( $23^{\circ}9'$ ), lo que significa que la proyección vertical del CG se encuentra más cerca del punto de apoyo del pie en la tabla, con referencia al plano sagital. Por último se incluye también el valor de flexo-extensión de la rodilla durante la fase de compresión demostrándose que no existen diferencias entre hombres y mujeres. Esto es, se utiliza un mismo rango de movimiento articular, lo que conllevaría patrones de actividad muscular similares.

Tabla 4: Variables técnicas analizadas: velocidad relativa del tobillo (RV\_tob), ángulo de implantación de la pierna de batida en los planos sagital (Aplant\_T1\_S) en el instante del contacto (T1), y rango de flexión de la rodilla en la fase de compresión (Flexrod\_T1-T2).

Variables	Hombres Media ds	Mujeres Media ds	P
RV_tob (m.s <sup>-1</sup> )	-7,6 0,83	-7,5 0,40	,604
Aplant_T1_S (°)	26,4 2,0	23,9 1,2	<b>,009</b>
Flexrod_T1-T2 (°)	25 2,05	23 2,6	,076

#### 4.- DISCUSIÓN

En general, los resultados son coincidentes con las referencias de la literatura confirmando la existencia de lo que se ha denominado mecanismo de “pivot” (Lees et al, 1994) a través del cual se produce el intercambio de energía durante la batida representado por el aumento de la velocidad vertical a expensas de la pérdida de la velocidad horizontal, demostrándose que tanto hombres como mujeres se apoyan en los mecanismos derivados del pivot, especialmente durante la fase de compresión.

Resulta importante destacar la intervención de la velocidad horizontal como factor explicativo de las diferencias entre grupos, así como de la distancia de salto. Numerosos estudios han destacado la participación de la velocidad de la carrera de aproximación en el modelado del salto. Este es el caso del estudio de caso realizado por Bridget et al (2006) en el que se concluye que el saltador analizado adapta la técnica de salto a la velocidad de carrera. En nuestro estudio se da un caso diferente justificado en el hecho de que se analiza a un grupo de saltadores. Esta es la razón que puede justificar que, a pesar de que la velocidad de carrera correlacione significativamente con la distancia de salto, la técnica de los grupos analizados sea similar respecto de los parámetros utilizados.

Con todo se ha podido demostrar que las técnicas utilizadas por ambos grupos es similar, a excepción de algunos aspectos como el ángulo de implantación de la batida, algo que es coherente en la medida que una mayor velocidad de carrera requiere un ángulo de implantación mayor para conseguir una posición favorable para conseguir el nivel de rigidez necesario. Esto viene a confirmar afirmaciones realizadas en estudios previos en el sentido de que cada situación requiere niveles de rigidez diferentes (Seyfart, Friedrichs, Wank, & Blickhan, 1999).

Siguiendo en el apartado técnico, cabe también subrayar la relación significativa encontrada entre el nivel de apoyo activo del pie de batida y la ganancia y pérdida de las velocidades vertical y horizontal del CG respectivamente, de manera que un apoyo activo favorece la ganancia de velocidad vertical y también la pérdida de velocidad horizontal, sumándose a las evidencias de la aparición del mecanismo del pivot. En todo caso, en el análisis entre grupos no se han encontrado diferencias

significativas en la velocidad relativa del pie de batida, confirmando que ambos grupos utilizan dicho recurso técnico de forma similar.

## 5.- CONCLUSIONES

Los resultados muestran unos patrones técnicos similares entre hombres y mujeres, salvo en la velocidad horizontal del CG, que se convierte en el factor con mayor poder discriminante. Con ello se confirma que las técnicas de batida son similares en sus componentes cinemáticos y que las diferencias entre unos y otras provienen de la mayor capacidad de los hombres para conseguir una mayor velocidad en la carrera de aproximación. De hecho, esta diferencia no influye en la capacidad de generar componente vertical. El valor de la velocidad vertical en el instante de despegue es más bajo en las mujeres, aunque sin que ello establezca diferencias con los hombres en términos estadísticos. A partir de estos hallazgos, se refuerza la idea de que las mujeres serán capaces de conseguir mayores distancias de salto en la medida que consigan mejorar la velocidad de la carrera de aproximación. Algo que requerirá también una mayor capacidad muscular para resistir las fuerzas de impacto en la batida.

Por último, cabe subrayar que la utilización de una muestra reducida de saltadores convierte a este trabajo en un estudio exploratorio cuyos resultados deberían confirmarse en otros nuevos utilizando muestras más amplias. En todo caso, el valor de los resultados reside en el nivel de los saltadores analizados, lo cual permite obtener referencias que puedan ser comparadas con grupos de saltadores con diferente nivel de rendimiento.

### Listado de variables:

DO: Distancia oficial

DR: Distancia real.

V\_carrera (m.s-1): velocidad del CG en la carrera de aproximación.

VCG\_t1 (m.s-1): velocidad resultante del CG en el instante del contacto (T1)

VCG\_t2 (m.s-1): velocidad resultante del CG en el instante de la máxima flexión de la rodilla (T2)

VCG\_t3 (m.s-1): velocidad resultante del CG en el instante de despegue (T3)

AngCG\_t3 (°): Ángulo de despegue del CG en el instante de despegue (T3)

Ganancia Vz t1-t3 (m.s-1): Ganancia de velocidad vertical del CG a lo largo de la batida (T1-T3)

Pérdida Vy t1-t3 (m.s-1): Pérdida de velocidad horizontal del CG a lo largo de la batida (T1-T3)

Vy (m.s-1): Velocidad horizontal del CG.

Vz (m.s-1): Velocidad vertical del CG.

Ang\_rod (°): Ángulo de flexo-extensión de la rodilla de la pierna de batida.

HCG\_rel (m): Altura relativa del CG respecto de la talla del saltador.

RV\_tob (m.s-1): Velocidad horizontal relativa del tobillo respecto de la velocidad horizontal del CG.

Aplant\_T1\_S (°): Ángulo de implantación de la pierna de batida en el plano sagital, entre la proyección vertical del CG y la línea que conecta el CG y el tobillo.

Flexrod\_T1-T2 (°): Rango de flexión de la rodilla de la pierna de batida en la fase de compresión.



## 6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Aziz Y.I. y Karara, H.M. *Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close range photogrammetry*. En ASP Symposium on close range photogrammetry. American Society of Photogrammetry.), ASP, Falis Church, 1971, pp. 1-18.
- Alexander, R. McN (1990). Optimum take-off techniques for high and long jumps. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 329, 3-10
- Bridget, L. & Linthorne, N. (2006). Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *Journal of Sports Sciences*, 24 (8), 889-897
- Dapena, J. and C.S. Chung. (1988) Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20(3), pp. 290-302
- de Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223-1230.
- Graham-Smith, P., Lees, A. ((2005). A three-dimensional kinematical analysis of the long jump take-off. *Journal of Sports Sciences*, 23 (9), pp. 891-903
- Hay, & Nohara. (1990) Techniques used by elite long jumpers in preparation for takeoff. *Journal of Biomechanics*, 23(3), 229-239
- Hay, J. C. (1987) *The Biomechanics of sport techniques*, Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey
- Hay, J. G. (1993). Citius, altius, fortius (faster, higher, longer): The biomechanics of jumping distance. *Journal of Biomechanics*, 26 (suppl.1), 7-26
- Hay, J. G., Reid, J. G. (1988). *Anatomy, mechanics and human motion*. (2<sup>nd</sup> ed.). Englewood Cliffs, Prentice Hall
- Kho, T. J. & Hay, J. G. (1990). Landing leg motion and performance in the horizontal jumps 1: The long jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 343-360
- Lees, A, Fowlwe, N, Derby, D (1993). A biomechanical analysis of the last stride, touchdown and take-off characteristics of the women's long jump. *Journal of Sports Sciences*, 11,303-314
- Lees, A., Graham-Smith, P., Fowler, N. (1994). A biomechanical Analysis of the Last Stride, Touchdown, and Takeoff Characteristics of the Men's Long Jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, pp. 61-78
- Seyfarth, A, Blickhan, R, Van Leeuwen, J.L. (2000) Optimum take-off techniques and muscle design for long jump. *Journal of Experimental Biology*, 203, 741-750 (1999)
- Zatsiorsky,V.M.;Seluyanov,V.N., *The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body*. En Matsui,H and Kobayashi,K (Ed) Biomechanics VIII-B. Human Kinetics, Champaign, pp.1152-1159, 1983