

Gutiérrez-Dávila, M.; Giles, F.J.; Gutiérrez-Cruz, C.; Garrido, J.M. y Rojas, F.J. (2014). Contribución de la carrera y la acción de brazos en la batida del salto vertical / Contribution of the run-up and arms action in the vertical jump takeoff. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 14 (54) pp. 213-225. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista54/artcontribucion464.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista54/artcontribucion464.htm)

## ORIGINAL

### CONTRIBUCIÓN DE LA CARRERA Y LA ACCIÓN DE BRAZOS EN LA BATIDA DEL SALTO VERTICAL

### CONTRIBUTION OF THE RUN-UP AND ARMS ACTION IN THE VERTICAL JUMP TAKEOFF

**Gutiérrez-Dávila, M.; Giles, F.J.; Gutiérrez-Cruz, C.; Garrido, J.M. y Rojas, F.J.**

Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Granada. España. [marcosgd@ugr.es](mailto:marcosgd@ugr.es); [jqiles@correo.ugr.es](mailto:jqiles@correo.ugr.es); [carmengc90@hotmail.com](mailto:carmengc90@hotmail.com); [xjuanma@gmail.com](mailto:xjuanma@gmail.com); [fjrojas@ugr.es](mailto:fjrojas@ugr.es)

**Códigos UNESCO / UNESCO Code:** 2406.04 Biomecánica / Biomechanics.

**Clasificación del Consejo de Europa / Classification of the Council of Europe:** 3. Biomecánica del deporte / Biomechanics of sport.

**Recibido** 23 de noviembre de 2011 **Received** November 23, 2011

**Aceptado** 13 de diciembre de 2012 **Accepted** December 13, 2012

#### RESUMEN

Se ha evaluado el efecto de la contribución segmentaria y la carrera previa, sobre la biomecánica del salto vertical con doble apoyo. Han participado 16 deportistas con experiencia en el salto vertical. Se ha utilizado una plataforma de fuerza, sincronizada temporalmente a una cámara de alta velocidad. Se realizaron dos tipos de saltos: Drop Jump (DJ), donde los sujetos se dejaban caer desde una altura y Hop Style Jump (HSJ), donde los sujetos partían de una carrera previa. Cuando los saltos se realizan con el estilo HSJ, existe un incremento del 14% en la altura alcanzada por el centro de masas (CM). La altura del CM en el despegue contribuye un 24%, mientras que la velocidad vertical del CM contribuye un 76% a la altura de salto. El modelo de salto con carrera previa permite que la velocidad vertical del CM sea positiva antes de iniciarse el impulso de aceleración.

**PALABRAS CLAVE:** Biomecánica, Salto vertical, Batidas, Fuerza.

## ABSTRACT

The main objective of this study is to analyse the effect that the segmental contribution and the previous run-up exert on the biomechanics of the double-leg vertical jump. 16 athletes took part in this study with experience in the vertical jump. A force platform synchronized to a high-speed camera were used to gather kinematics and kinetics data. Two types of jumps were made: the drop jump (DJ), where the subjects drop from a height, and the hop-style jump (HSJ), where the subjects run before jumping. The HSJ resulted in a 14% increase in the height reached by the centre of mass (CM). The height of the CM in the takeoff contributes 24%, whereas the vertical velocity of the CM contributes 76% to the height of the jump. The HSJ allows a positive vertical velocity of the CM at the beginning of the impulse of acceleration.

**KEYWORDS:** Biomechanics, Vertical Jump, Take off, Force.

## INTRODUCCIÓN

Una de las batidas más habituales que se utilizan, en el ámbito del baloncesto o del voleibol, es la que se realiza con doble apoyo y precedidas de una carrera previa (Voelzke, Stutzig, Thorhauer y Granacher, 2012). La eficiencia de estas batidas, está relacionada con la producción de fuerza vertical y el tiempo de ejecución (Hay, 1973, Kirby, Mc Bride, Haines, y Dayne, 2011). Así, cuanto mayor es la fuerza vertical, mayor será la altura de salto y, cuanto menor sea el tiempo de la batida, más dificultad tendrán los oponentes para interceptar la acción. Por lo tanto, en este tipo de actividades, es necesario buscar el desarrollo de cualidades que permitan generar una gran fuerza vertical en un tiempo reducido, lo que se conoce como un movimiento balístico o “explosivo”. Para evaluar este tipo de actividades se suelen utilizar varios protocolos, aunque posiblemente el más generalizado sea el “test de Bosco” y, concretamente, la prueba denominada “Drop Jump” (DJ) (Bobbert, 1990; Villa y García-López, 2003). Esta prueba consiste en dejarse caer desde una altura estandarizada, contactar con el suelo, amortiguar la caída y, sin pausa, realizar un impulso vertical máximo. Como sucede en todos los protocolos utilizados en la batería del test de Bosco, los saltos se realizan con restricción de movimientos segmentarios (manos sobre las crestas ilíacas y tronco erguido), en un intento de focalizar la acción en los músculos extensores de los miembros inferiores.

Aunque la restricción segmentaria propuesta en el protocolo del test de Bosco para DJ, permitiría evaluar un movimiento balístico de estiramiento-acortamiento focalizado en la musculatura extensora de la cadera, rodilla y tobillo,

los estudios precedentes ponen en cuestión la validez ecológica de esta prueba. Así, Feltner, Bishop y Perez (2004) han puesto de manifiesto que la acción de brazos incrementa el tiempo de aplicación de fuerzas verticales, sin que se vea modificada la fuerza media durante el impulso de aceleración en saltos con contramovimiento, además de verse modificados los momentos de fuerza ejercidos por la musculatura extensora de los miembros inferiores. En este sentido, Lees, Vanrenterghem y Clercq (2004), han sugerido cambios en la participación muscular cuando el salto vertical se realiza con acción de brazos. Por otra parte, Miura, Yamamoto, Tamaki y Zushi (2010), han aportado que, debido a las diferentes intensidades que se producen en el ciclo estiramiento-acortamiento para cada tipo de salto, la altura alcanzada en los saltos con un solo apoyo y carrera previa, no se correlaciona con la altura alcanzada en saltos realizados con doble apoyo y contramovimiento (CMJ). Las consideraciones expuestas sugieren que las pruebas que incorporan en su protocolo restricciones segmentarias o modificaciones en el modelo de salto, están lejos del principio de especificidad.

El protocolo de Bosco DJ, tampoco contempla el efecto de la carrera previa al salto, un aspecto que ha sido objeto de estudio por diferentes autores (Dapena, 1980; Saunders, 1993; Dapena y Chung, 1988; Gutiérrez-Dávila, Campos y Navarro, 2009). Saunders (1993) ha puesto de manifiesto que la altura de salto se incrementa cuando la velocidad de aproximación está entre el 50% y el 60% de la máxima velocidad, mientras que se reduce cuando la velocidad de aproximación es excesiva. Sattler, Sekulic, Hadzic, Uljevic y Dervisevic (2012) han puesto de manifiesto que la carrera previa incrementa la altura del salto en jugadores de voleibol de alto nivel, una media de un 42% con respecto a los saltos verticales con contramovimiento (CMJ). En un sentido explicativo, Dapena y Chung (1988) han señalado la necesidad de utilizar un modelo teórico para explicar las batidas realizadas con carrera previa, diferente al utilizado para los saltos verticales con contramovimiento. Este cambio de modelo teórico, junto al incremento de los segmentos que participan en la cadena cinética, podría influir sobre los beneficios del ciclo estiramiento-acortamiento en los saltos verticales cuando se utiliza el protocolo del test de Bosco. En este sentido, las investigaciones de Anderson y Pandey (1993), así como los datos aportados por Gutiérrez-Dávila et al., (2009), para los saltos verticales con carrera previa y acción de brazos, no han podido constatar que la energía acumulada durante el estiramiento muscular de la fase de frenado, pueda tener efecto sobre la eficiencia global o altura alcanzada por el centro de masas (CM).

Los antecedentes expuestos nos permiten cuestionar la validez ecológica de los test que plantean en su protocolo la restricción segmentaria para evaluar la capacidad de salto, como sucede en el test de Bosco DJ. Así, en este trabajo se pretenden dos objetivos: a) evaluar la contribución segmentaria y la carrera previa, sobre los factores de eficacia que determinan el salto vertical con doble apoyo y b) establecer la posible relación entre los registros obtenidos a partir del test de

Bosco DJ y los obtenidos a partir de la realización de saltos verticales con carrera previa y acción de brazos, lo que se ha denominado como Hop Style Jump (HSJ).

## MÉTODO

Han participado 16 estudiantes masculinos de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (talla=  $1,80 \pm 0,06$  m; masa=  $73,2 \pm 7,6$  Kg, índice de masa corporal,  $IMC = 22,41 \pm 1,96$  Kg/m<sup>2</sup>), utilizando para su selección el criterio de participar habitualmente en actividades deportivas, donde el salto vertical constituye una habilidad básica. A todos ellos se les informó y solicitó su consentimiento para participar en este estudio, siguiendo las directrices de la Comisión Ética de la Universidad de Granada.

Se ha utilizado una plataforma de fuerza de 0,6 x 0,37 m, Dinascan/IBV, operando a 500 Hz y asociada a un sistema de referencias, donde el eje X correspondía a la dirección y sentido de la carrera de aproximación, el eje Z el vertical y el Y era perpendicular a los otros dos. El registro de la plataforma de fuerzas estaba sincronizado temporalmente a una cámara de vídeo Casio EX - FH20, que registraba a 210 Hz el plano sagital del los saltos realizados sobre la plataforma. El sincronismo temporal consistía en un sistema electrónico que encendía un led al iniciarse el registro de fuerza.

Después de realizar un calentamiento previo normalizado, utilizando un protocolo igual para todos los sujetos basado en 6 minutos de carrera continua progresiva, 2 minutos de estiramientos y 2 minutos de varios saltos verticales sobre la plataforma, recibieron las instrucciones para realizar los saltos Drop Jump (DJ) y Hop Style Jump (HSJ). Para los saltos DJ, los sujetos partían desde una altura de 0,17 m, en una posición erguida y con las manos sobre las crestas ilíacas. Desde esta posición debían dejarse caer sobre la plataforma de fuerza, amortiguar la caída y, sin pausa, realizar un salto vertical máximo, manteniendo el tronco erguido y las manos sobre las crestas ilíacas. Para los saltos HSJ, los sujetos debían realizar un salto máximo partiendo de una carrera con dos apoyos antes de tomar contacto con la plataforma de fuerza. La única restricción en el protocolo fue que la recepción en la plataforma se realizara de forma simultánea con los dos pies. Siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez-Dávila et al.,(2009), tras el análisis de los resultados, se tomó como criterio que el retraso del segundo apoyo fuese inferior a 0,009 s, rechazándose todos los saltos donde el retraso fue superior. La altura previa de 0,17 m para el salto DJ, fue elegida para conseguir una velocidad vertical del CM similar a la registrada por estos mismos autores para los saltos HSJ. Se realizó una sesión de cinco saltos válidos para cada condición, analizándose el salto cuyo tiempo de vuelo era el valor mediano de los cinco saltos. El orden de las condiciones propuestas para cada sesión fue alterado entre los sujetos.

Siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez-Dávila, Dapena y

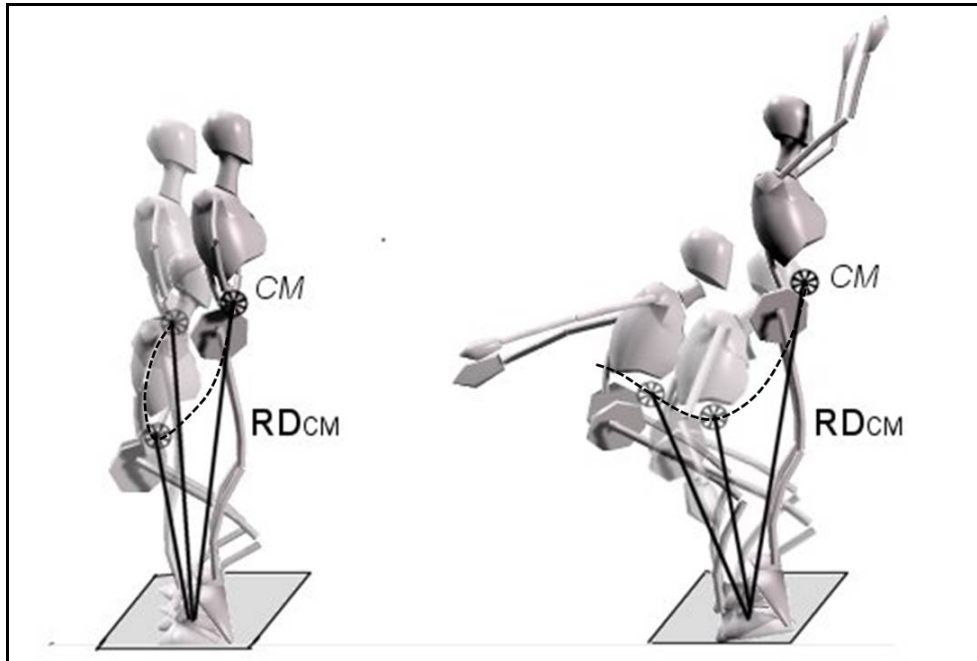
Campos (2006), en cada ensayo se determinó el posible error sistemático procedente de la plataforma mediante la media de los 20 registros sucesivos después del despegue. Los registros relativos a las componentes rectangulares de la velocidad y la altura del CM en el despegue, se determinaron a partir de las respectivas componentes de la fuerza de reacción procedente de la plataforma de fuerza. Para ello, después de restar a cada componente de la fuerza el posible error sistemático y el peso del sujeto, se calcularon las componentes de aceleración vertical, a partir de las respectivas componentes de la fuerza y la masa del saltador.

Las sucesivas componentes horizontales y verticales de la velocidad del CM, durante el tiempo que dura la batida ( $v_{CM(X)}$ ,  $v_{CM(Z)}$ , respectivamente), se determinaron mediante integración de las respectivas componentes de las funciones de aceleración-tiempo. Finalmente, las sucesivas posiciones horizontales y verticales del CM ( $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$ , respectivamente), se determinaron mediante integración de las respectivas funciones velocidad- tiempo. Para el proceso de integración se ha utilizado el método trapezoidal con un incremento temporal de 0,002 s. Las constantes de integración se han obtenido a partir de la digitalización manual de las imágenes de vídeo. Así, para determinar el CM en el instante de tomar contacto con la plataforma, se ha utilizado un modelo mecánico de 14 segmentos, donde las masas segmentarias y las respectivas localizaciones del su centros de masa, se han obtenido a partir de los valores propuestos por Zatsiorsky y Seluyanov (1983) y adaptados por de Leva, (1996).

Los instantes de recepción y despegue de la plataforma ( $t_{(RECEPCIÓN)}$  y  $t_{(DESPEGUE)}$ , respectivamente), se determinaron a partir de la componente vertical de la fuerza, estimándose en 0,001 s (mitad del intervalo de registro), antes de que la fuerza tomara un valor mayor o menor de 2 N, para la recepción y despegue, respectivamente. La posición y las componentes de la velocidad del CM en los instantes de la recepción y despegue, se determinaron a partir de los valores medios en sus respectivos intervalos temporales. Para el análisis de los movimientos del CM, se ha adoptado la metodología propuesta por Dapena y Chung (1988) y Vint y Hinrichs (1996) para los saltos realizados con doble apoyo. Así, se ha definido la distancia y velocidad radial del CM ( $RD_{CM}$ ,  $RV_{CM}$ , respectivamente) a partir de un vector posición comprendido entre la posición del CM del sujeto y un eje de giro, situado en el punto medio de las coordenadas horizontales de los talones y las puntas de los pies, cuando éstos están plenamente apoyados en la plataforma.

La fase de impulso de frenado ( $t_{(FRENADO)}$ ), se ha considerado como el periodo comprendido entre  $t_{(RECEPCIÓN)}$  y el instante en que la distancia radial se hace mínima ( $RD_{CM(MÍNIMA)}$ ). La fase de impulso de aceleración ( $t_{(ACELERACIÓN)}$ ), se ha definido como el periodo comprendido entre  $RD_{CM(MÍNIMA)}$  y ( $t_{(DESPEGUE)}$ ). En la figura 1 se presenta  $RD_{CM}$  en las tres posiciones que definen las fases en los dos

modelos de salto analizados.



**Figura 1.-** Representación gráfica de los dos modelos de salto, así como de la distancia radial en la posición inicial, mínima distancia y el despegue.

Para el tratamiento estadístico de los datos se ha utilizado el software Statgraphics 5.1 de Statistical Graphics Corporation, aplicando una estadística descriptiva y un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA multifactorial) para las dos situaciones experimentales propuestas (DJ y HSJ), así como un análisis de regresión simple, utilizándose como variables dependientes la altura y la velocidad del CM en el despegue para los saltos realizados con carrera previa y acción de brazos ( $H_{CM (DESPEGUE)}$  (HSJ) y  $V_{CM(Z)} (DESPEGUE)$  (HSJ), respectivamente).

## RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los datos de tendencia central de las variables relacionadas con la contribución segmentaria en el salto vertical, así como su estadística inferencial, para los saltos realizados con el protocolo de Bosco (DJ) y los realizados con carrera previa y acción de brazos (HSJ). Los resultados ponen de manifiesto que la altura del CM en el instante de despegue ( $H_{CM (DESPEGUE)}$ ) es significativamente mayor ( $p < 0,01$ ), cuando el salto se realiza con carrera previa y acción de brazos (1,16 vs 1,21 m, para DJ y HSJ, respectivamente).

Algo similar ocurre con la velocidad vertical en el instante de despegue ( $V_{CM(Z)} (DESPEGUE)$ ), aunque en este caso, la significación se incrementa hasta  $p < 0,001$  (2,51 vs 3,08  $ms^{-1}$ , para DJ y HSJ, respectivamente). La velocidad vertical del CM en la recepción ( $V_{CM(Z)} (RECEPCIÓN)$ ) ha sido significativamente mayor cuando

se utiliza DJ ( $p < 0,001$ ). La velocidad radial del CM en el instante de recepción ( $V_{CM(RD)}(RECEPCIÓN)$ ), ha sido significativamente mayor cuando el salto se realiza con carrera previa y acción de brazos (HSJ), un hecho que tiene su origen en la velocidad horizontal del CM debida a la carrera previa. No han existido diferencias entre las medias de la mínima distancia radial ( $RD_{CM}(MÍNIMA)$ ), sin embargo, se han obtenido claras diferencias ( $p < 0,001$ ) entre las medias de la velocidad vertical del CM en ese instante ( $0,00$  vs  $0,23 \text{ ms}^{-1}$ , para  $V_{CM(Z)}(MÍNIMA-RD)$  DJ y  $V_{CM(Z)}(MÍNIMA-RD)$  HSJ, respectivamente).

**Tabla 1.-** Estadística descriptiva e inferencial de las variables relacionadas con la contribución segmentaria en la altura de salto vertical con contramovimiento.

Variables	DJ	HSJ	DIF (HSJ-DJ)	F
Altura CM despegue, $H_{CM(DESPEGUE)}(m)$	1,16 ± 0,06	1,21 ± 0,07	0,05 ± 0,05	14,13**
Velocidad vertical CM despegue, $V_{CM(Z)}(DESPEGUE)(\text{ms}^{-1})$	2,51 ± 0,17	3,08 ± 0,29	0,59 ± 0,18	139,5***
Velocidad vertical CM recepción, $V_{CM(Z)}(RECEPCIÓN)(\text{ms}^{-1})$	-2,00 ± 0,15	-1,57 ± 0,32	0,43 ± 0,34	26,35***
Velocidad radial CM recepción, $V_{CM(RD)}(RECEPCIÓN)(\text{ms}^{-1})$	-2,07 ± 0,13	-2,81 ± 0,30	-0,74 ± 0,29	99,29***
Mínima distancia radial, $RD_{CM}(MÍNIMA)(m)$	0,77 ± 0,09	0,79 ± 0,10	0,00 ± 0,07	0,71
Velocidad vertical CM mínima distancia radial, $V_{CM(Z)}(MÍNIMA-RD)(\text{ms})$	0,00 ± 0,01	0,23 ± 0,07	0,24 ± 0,08	129,38** *
Tiempo de impulso de frenado, $t_{(FRENADO)}(s)$	0,238 ± 0,072	0,167 ± 0,058	-0,055 ± 0,061	12,56**
Tiempo de impulso de aceleración, $t_{(ACELERACIÓN)}(s)$	0,227 ± 0,049	0,201 ± 0,040	-0,009 ± 0,049	3,17
Fuerza media horizontal fase de frenado, $F_{m(X)}(FRENADO)(N)$	-89,2 ± 23,8	-386,8 ± 133,9	-277,9 ± 122,3	65,81***
Fuerza media vertical fase de frenado, $F_{m(Z)}(FRENADO)(N)$	664,1 ± 251,9	882,1 ± 318,9	179,4 ± 269,9	5,98*
Fuerza media horizontal fase de aceleración, $F_{m(X)}(ACELERACIÓN)(N)$	-84,4 ± 40,1	-399,3 ± 133,7	-306,3 ± 136,7	69,51***
Fuerza media vertical fase de aceleración,	861,6 ± 238,3	1019,1 ± 223,8	117,0 ± 208,4	9,15**

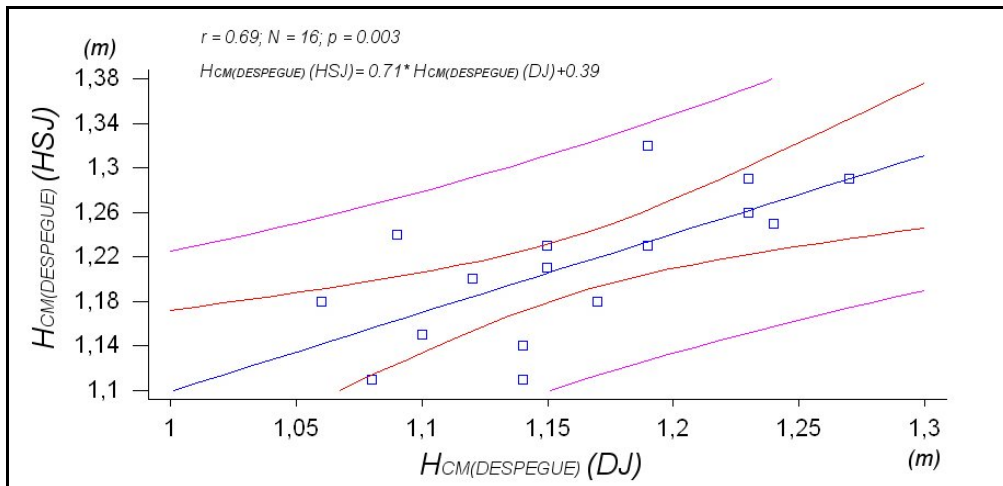
$Fm_{(Z)} (ACELERACIÓN) (N)$ \*\*\*  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ 

El análisis temporal expuesto en la tabla 1, pone de manifiesto que el tiempo utilizado para frenar el desplazamiento previo ( $t_{(FRENADO)}$ ) es significativamente mayor ( $p < 0,01$ ) cuando se utiliza el protocolo del test de Bosco (DJ), es decir, cuando el desplazamiento del CM es vertical (0,238 vs 0,167 s, para DJ y HSJ, respectivamente), mientras que no han existido diferencias estadísticamente significativas para el tiempo utilizado en la fase de aceleración vertical ( $t_{(ACELERACIÓN)}$ ).

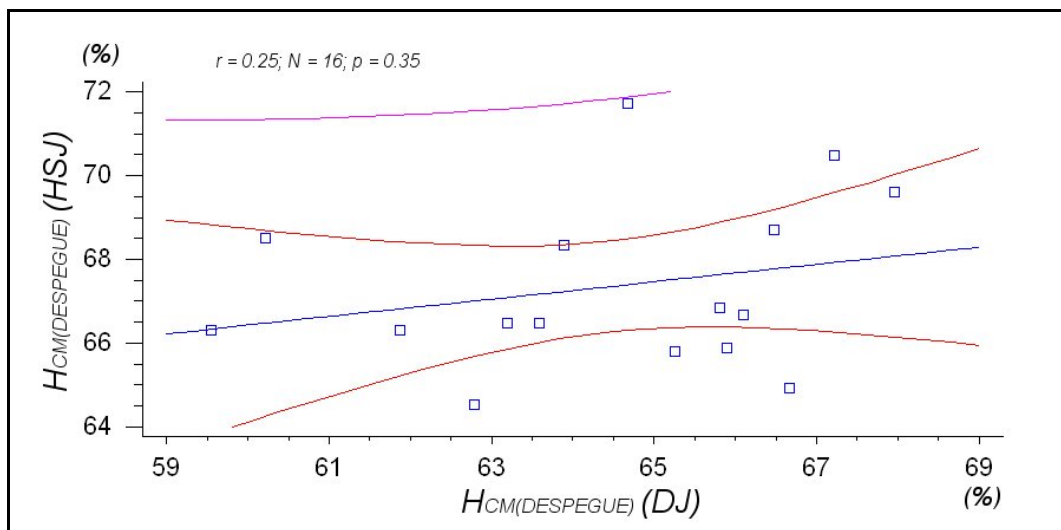
En la tabla 1, también se presentan las componentes de la fuerza de reacción neta media desarrollada durante los periodos de frenado y aceleración. Cuando se utiliza la carrera previa y acción de brazos (HSJ), la componente horizontal de la fuerza media ( $Fm_{(X)} (FRENADO)$  y  $Fm_{(X)} (ACELERACIÓN)$ ) han sido significativamente mayores para las dos fases analizadas ( $p < 0,001$ ). Con respecto a la fuerza media de la componente vertical durante la fase de frenado ( $Fm_{(Z)} (FRENADO)$ ), han existido ciertas diferencias entre sus medias ( $p < 0,05$ ), mientras que estas diferencias se incrementaron hasta  $p < 0,01$  para la fase de aceleración ( $Fm_{(Z)} (ACELERACIÓN)$ ). Consideramos necesario destacar los excesivos valores de las desviaciones típicas, con respecto a las medias, en los incrementos de la fuerza vertical para las dos fases (HSJ- DJ).

Finalmente, para tratar de establecer la posible relación entre la altura de salto con acción de brazos y carrera previa (HSJ), a partir del protocolo de salto propuesto en el test de Bosco (DJ), en la figura 2 se puede observar que existe una correlación positiva ( $r=0,69$ ;  $p < 0,01$ ) entre la altura vertical del CM en el instante del despegue, para la situación HSJ ( $H_{CM (DESPEGUE)} (HSJ)$ ), y la alcanzada utilizando el protocolo de Bosco DJ ( $H_{CM (DESPEGUE)} (CMJ)$ ). Cuando estos mismos datos se expresan en porcentajes de la talla de los sujetos, la correlación obtenida no puede considerarse estadísticamente significativa ( $r=0,25$ ;  $p=0,35$ , ver figura 3). La correlación expuesta en la figura 4 para la velocidad del CM en el despegue ( $V_{CM(Z)} (DESPEGUE)$ ), pone de manifiesto que existe una correlación positiva entre la velocidad vertical del CM, cuando el salto se realiza con carrera previa y acción de brazos ( $V_{CM(Z)} (DESPEGUE) (HSJ)$ ) y la velocidad vertical alcanzada cuando el salto se realiza utilizando el protocolo de Bosco DJ ( $V_{CM(Z)} (DESPEGUE) (DJ)$ ) ( $r=0,72$ ;  $ES_{(est.)}=0,18$ ;  $p < 0,01$ ), con una ecuación de regresión donde  $V_{CM(Z)} (DESPEGUE) (HSJ) = 1,1 \times V_{CM(Z)} (DESPEGUE) (DJ) + 0,34$ .

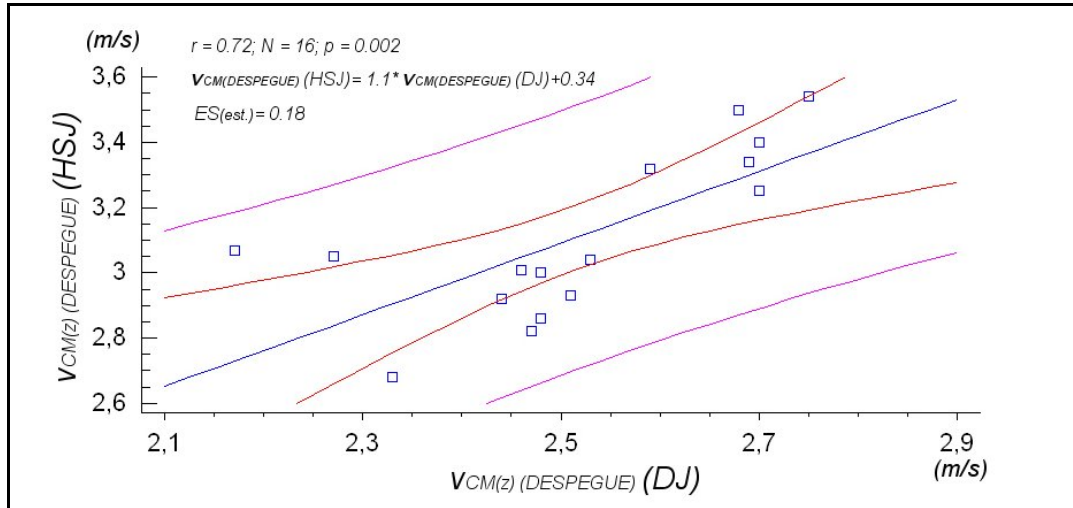




**Figura 2.-** Relación ente la altura vertical del CM en el instante del despegue para los saltos realizados con carrera previa y acción de brazos ( $H_{CM(DESPEGUE)}(HSJ)$ ) y utilizando el protocolo de Bosco DJ ( $H_{CM(DESPEGUE)}(DJ)$ ).



**Figura 3.-** Relación ente la altura vertical del CM en el instante del despegue para los saltos realizados con carrera previa y acción de brazos ( $H_{CM(DESPEGUE)}(HSJ)$ ) y utilizando el protocolo de Bosco DJ ( $H_{CM(DESPEGUE)}(DJ)$ ), expresados en porcentaje de la talla.



**Figura 4.-** Relación ente la velocidad vertical del CM en el instante del despegue para los saltos realizados con carrera previa y acción de brazos ( $v_{CM(DESPEGUE)}(HSJ)$ ) y utilizando el protocolo de Bosco DJ ( $v_{CM(DESPEGUE)}(DJ)$ ).

## DISCUSIÓN

Considerando las ecuaciones cinemáticas del movimiento de caída libre, las componentes verticales de las velocidades, en el instante del despegue, han supuesto un desplazamiento vertical medio del CM de 0,32 m, para DJ y de 0,48 m, para HSJ, coincidiendo con los resultados de Sattler et al., (2012). Este incremento de 0,16 m, más el producido por la altura del CM en el instante del despegue (0,05 m, ver tabla 1), hacen que la altura de salto sea de media 0,21 m más alto cuando el salto se realiza con carrera previa y acción de brazos (HSJ). Así, para un sujeto medio de esta muestra, la altura total alcanzada por el CM, cuando el salto se realiza con carrera y acción de brazos, sería de 1,69 m, para los saltos HSJ y de 1,48 cuando se utiliza DJ, lo que supone un incremento del 14% de la altura del salto. Según los datos expuestos, la velocidad vertical del CM en el despegue ( $v_{CM(z)}(DESPEGUE)$ ) contribuye a este incremento un 76 %, mientras que la altura del CM en el despegue ( $H_{CM(DESPEGUE)}$ ) lo hace un 24%. Analizando las contribución media de  $v_{CM(z)}(DESPEGUE)$  en el salto (un incremento de  $0,59 \pm 0,18 \text{ ms}^{-1}$  para la condición HSJ, ver tabla 1), no podemos afirmar que éste incremento se deba sólo a un mayor impulso vertical durante la fase de aceleración. Los datos ponen de manifiesto que cuando se produce la mínima distancia radial, es decir, antes de comenzar la fase de aceleración vertical, la velocidad vertical del CM es significativamente mayor ( $p < 0,000$ ) para los saltos con carrera previa y acción de brazos, con un incremento medio de  $0,24 \text{ ms}^{-1}$ , sólo el resto ( $0,35 \text{ ms}^{-1}$ ) se producirá debido al incremento del impulso vertical durante la fase de aceleración. Estos datos coinciden con los aportados por Gutiérrez-Dávila, et al.,(2009) para los saltos con carrera previa y acción de brazos

Nuestros resultados confirman las teorías propuestas por Dapena y Chung (1988) y Vint y Hinrichs (1996), al poner de manifiesto que un modelo de salto donde se llega al final de la carrera de aproximación con el CM retrasado, con respecto al apoyo, y con una velocidad vertical próxima a cero, permite que el CM se desplace hacia arriba mientras se reduce la distancia radial, llegando al comienzo de la fase de aceleración con una velocidad vertical positiva, lo que no es posible cuando se utiliza el test de Bosco DJ, donde la velocidad vertical del CM siempre será próxima a cero antes de iniciarse la fase de aceleración. Los modelos de saltos con carrera previa son más eficaces cuanto mayor sea la velocidad horizontal de aproximación (hasta 60% de la máxima velocidad) y la velocidad vertical del CM en la recepción esté más próxima a cero (Dapena y Chung, 1988; Saunders, 1993). Según lo expuesto, como consecuencia del protocolo propuesto para los saltos HSJ, la velocidad horizontal de aproximación ha sido relativamente pequeña ( $2,08 \pm 0,28 \text{ ms}^{-1}$ ) y la velocidad vertical en la recepción relativamente alta ( $1,57 \pm 0,32 \text{ ms}^{-1}$ ), lo que sugiere que un protocolo más libre para la realización de los saltos HSJ, (Sattler e tal., 2012) aún podría incrementar más la altura de salto con respecto a los realizados con el protocolo de Bosco DJ.

Considerando que, en los saltos DJ, la velocidad vertical en el instante de la recepción ha sido una media de  $0,43 \text{ ms}^{-1}$  superior a la obtenida para los saltos HSJ, necesariamente, el impulso de frenado vertical también tendrá que ser mayor para DJ. Efectivamente, este hecho se produce debido al incremento del tiempo y no a la fuerza vertical que, incluso, es algo superior para los saltos HSJ. Por el contrario, la velocidad horizontal que se obtiene en la recepción debida a la carrera previa, hace que el impulso de frenado horizontal sea también superior para los saltos HSJ, aunque, en este caso, el incremento del impulso ha sido debido a la fuerza media aplicada durante esta fase. Como se ha indicado en párrafos anteriores, el impulso vertical durante la fase de aceleración también contribuye al incremento de la velocidad vertical en el despegue, lo que se consigue debido al incremento de la fuerza, mientras que el tiempo se mantiene con valores medios similares para los dos tipos de salto. Según lo expuesto, el modelo de salto HSJ, facilitaría la tensión refleja y otros mecanismos de pretensión muscular durante la fase de frenado, lo que permitiría un incremento de la fuerza vertical durante la fase de aceleración (Cavagna, Dusman y Margaria, 1968; Komi y Bosco, 1978).

Las correlaciones expuestas en las figuras 2 y 3, ponen de manifiesto que la relación entre altura del CM en el despegue para los saltos DJ y HSJ, es debida a la talla de los sujetos. Cuando estas variables se expresan en porcentaje a la talla, podemos decir que son independientes entre sí. Sin embargo, los datos ponen de manifiesto que cuando se incrementa la velocidad vertical del CM en las condiciones propuestas en el test de Bosco DJ, también se incrementa cuando el

salto se realiza con carrera previa y acción de brazos. El alto valor del coeficiente de correlación ( $r=0,72$ ) y un error estándar de estimación relativamente bajo ( $ES_{(est.)}=0,18$ ), nos permiten predecir con suficiente confiabilidad la dependencia entre las dos variables. Esta relación tiene su explicación en la importante contribución de los miembros inferiores en el desplazamiento vertical del CM (Luhtanen y Komi, 1978; Tidow, 1990; Tricoli, Lamas, Carnevale y Ugrinowitsch, 2005), aunque debemos ser cautos al predecir la altura alcanzada por el CM a partir del test de Bosco DJ, ya que es necesario considerar que se trata de dos modelos de salto diferentes, donde el utilizado en el salto HSJ consigue una velocidad vertical positiva antes de iniciarse el impulso de aceleración vertical y que la contribución muscular cambia, haciéndose más intensa, lo que nos aleja de la especificidad del movimiento.

## CONCLUSIONES

Cuando los saltos verticales se realizan con carrera previa y acción de brazos (HSJ), ha existido un incremento del 14% en la altura media alcanzada por el CM, con respecto a los saltos realizados utilizando el protocolo del test de Bosco (DJ). El principal incremento se ha producido debido a la velocidad vertical del CM al final de la batida, ( $v_{CM(Z)(DESPEGUE)}$ ) siendo su contribución del 24%. Desde una perspectiva matemática, este incremento está determinado por dos factores: a) El hecho de haber obtenido una velocidad vertical del CM positiva antes de iniciar el impulso de aceleración ( $v_{CM(Z)(MÍNIMA-RD)}$ ), como consecuencia de haber realizado una carrera previa y b) Haber producido un mayor impulso vertical durante la fase de aceleración, como consecuencia de haber incrementado la fuerza media vertical ( $F_{m(Z)(ACELERACIÓN)}$ ). En la siguiente expresión se resume este concepto:

$$v_{CM(Z)(DESPEGUE)} = (v_{CM(Z)(MÍNIMA-RD)}) + \left( \frac{\int F_{(Z)(ACELERACIÓN)} dt_{(ACELERACIÓN)}}{m} \right)$$

Con respecto al segundo de los objetivos propuestos en este trabajo, se ha constatado que, cuando se incrementa la velocidad vertical del CM en las condiciones propuestas en el test de Bosco DJ, también se incrementa cuando el salto se realiza con carrera previa y acción de brazos. Aunque la estadística nos permite predecir con suficiente confiabilidad la dependencia entre las dos variables, deberíamos ser cautos al predecir la altura alcanzada por el CM a partir del test de Bosco DJ, ya que, además de no considerar el incremento en la altura inicial, se trata de dos modelos de saltos que tienen explicaciones mecánicas diferentes y, los cambios encontrados en las fuerzas verticales, nos sugieren una contribución muscular diferente para los dos tipos de saltos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, F. & Pandy, M. (1993) Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *Journal of Biomechanics*. 26(12):1413-1427.
- Bobbert, M.F. (1990). Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Medicine*, 9 (1): 7-22.
- Cavagna, G.A., Dusman, B. & Margaria, R. (1968). Positive work done by previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*. 24: 21-32.
- Dapena, J. & Chung, C.S. (1988). Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20(3): 290-302.
- Dapena, J. (1980). Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 12(1): 37-44.
- de Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanovs segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 29(9): 1223-1230.
- Feltner, M.E., Bishop, E.J. & Perez, C.M. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75, 3, 216-230.
- Gutiérrez-Dávila, M. Campos J. & Navarro, E. (2009). A comparison of two landing styles in a two-foot vertical jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (1): 325-331.
- Gutiérrez-Dávila, M., Dapena, J. & Campos, J. (2006). The effect of muscular pre-tensing on the sprint start. *Journal of Applied Biomechanics*. 22 (3): 194-201.
- Hay, J.G. (1973). *The Biomechanics of sports techniques*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Kirby, T.J., Mc Bride, J.M., Haines, T.L. & Dayne, A.M. (2011) Relative Net Vertical Impulse Determines Jumping Performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 3, 207-214.
- Komi, P., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*. 10. 261-265.
- Lees, A., Vanrenterghem, J. & Clercq, D. (2004). Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *Journal of Biomechanics*, 37, 1929-1940.
- Luhtanen, P. & Komi, R.V. (1978). Segmental contribution to forces in vertical jump. *European Journal of Applied Physiology*. 38, 181-188.
- Miura, K., Yamamoto, M., Tamaki, H. & Zushi, K. (2010). Determinants of the abilities to jump higher and shorten the contact time in a running 1-legged vertical jump in basketball. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, (1): 201-206.
- Sattler T, Sekulić D, Hadzic V, Uljevic O, Dervisevic E (2012) Vertical jumping tests in volleyball: reliability, validity and playing-position specifics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1532-1538.

- Saunders, H.L. (1993). *A cinematographical study of the relationship between speed of movement. Doctoral dissertation.* Texas A&M University. College Stations.
- Tidow, G. (1990). Aspects of strength training in athletics. *New Studies in Athletics*, 1, 93–110.
- Tricoli, V., Lamas, L. Carnevale, R. & Ugrinowitsch, C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: Weightlifting vs. vertical jump training programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 19:433-437.
- Villa, J.G., & García-López, J. (2003). Tests de salto vertical (I): Aspectos funcionales. *Revista Digital: Rendimiento Deportivo.com*, 6, 1-14.
- Vint, P.F. & Hinrichs, R.N.. (1996). Differences between one-foot and two-foot vertical jump performances. *Journal of Applied Biomechanics*. 12: 338-358.
- Voelzke, M., Stutzig, N., Thorhauer, H.A. & Granacher, U. (2012). Promoting lower extremity strength in elite volleyball players: Effects of two combined training methods. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, 457-462.
- Zatsiorsky, V.M. & Seluyanov, N.V. (1983). The mass and inertial characteristics of the main segments of the human body. In: *Biomechanics VIII-B*. Matsui, H. and K. Kobayashi (Eds) Champaign, I.L: Human Kinetics, 1152-1159.

**Número de citas totales / Total references: 23 (100%)**

**Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 0**