

# EFECTO DE LA RESTRICCIÓN SEGMENTARIA EN LOS TEST DE SALTO VERTICAL CMJ

## EFFECT OF SEGMENTAL RESTRICTION IN THE VERTICAL JUMP TEST CMJ

### RESUMEN

En esta investigación se han pretendido tres objetivos: a) evaluar la contribución segmentaria en la altura alcanzada por el Centro de Masas (CM) en el salto vertical contramovimiento, b) proponer ecuaciones que nos permitan predecir la altura del salto a partir del protocolo propuesto en el test de Bosco CMJ y c) Investigar los efectos de diferentes métodos para el cálculo de la altura del salto vertical. Han participado 29 deportistas con experiencia en el salto vertical. Las fuerzas de reacción se obtuvieron a través de una plataforma de fuerza Dinascam/IBV a una frecuencia de 500 Hz, sincronizada temporalmente a una cámara de alta velocidad que registraba el plano sagital de los saltos realizados sobre la plataforma. Los sujetos realizaron dos tipos de saltos verticales máximos: con acción de brazos (CMJ+b) y usando el protocolo del test Bosco (CMJ). Los registros de las componentes rectangulares de la velocidad y la posición del CM, se determinaron mediante integración, a partir de las respectivas componentes de la fuerza de reacción. Los resultados han puesto de manifiesto que con acción de brazos, la altura alcanzada por el CM se incrementa un 12%. El 39% de este incremento se debió a la posición del CM en el despegue y el 61% restante al desplazamiento vertical del CM. El desplazamiento vertical del CM se debió al tiempo de impulso y no al incremento de la fuerza media. Cuando se incrementa el desplazamiento vertical del CM para los saltos sin acción de brazos, también se incrementa para los saltos realizados con acción de brazos ( $r=0.79$ ;  $p<0.001$ ). No se han encontrado diferencias entre los dos sistemas de registro para los saltos CMJ+b, mientras que cuando se utiliza el "test de Bosco" (CMJ) han existido claras diferencias ( $p<0.001$ ).

**Palabras clave:** Biomecánica. Salto vertical. Plataforma de fuerza. Fotogrametría 2D.

### SUMMARY

This research had three main goals: a) to assess the segmental contribution to the reached height by the center of mass (CM) during countermovement vertical jump, b) to propose equations that allow us to predict the height of the jump from the proposed protocol Bosco in the CMJ test and c) to investigate the effects of different methods to calculate vertical jump height. Twenty-nine athletes with experience in vertical jump took part on the study. Ground reaction forces were obtained from a Dinascam/IBV force platform at a sampling rate of 500 Hz, a time-synchronized to a high speed camera that recorded the sagittal plane of the jumps performed on the platform. The subjects performed maximum vertical jumps with arm action (CMJ + b) and using the test protocol Bosco (CMJ). The records of the rectangular components of the velocity and position of the CM were determined by integration, from the respective components of the reaction force. The results have shown that action of the arms, the height reached by the CM is increased by 12%. This increased was 39% due to the position of the CM at takeoff and 61% because of the vertical displacement of CM. The increase of the vertical displacement was due to the pulse time and the increase in average strength. When the vertical displacement of CM for action jumps without arms was increased, it was also increased for the action jumps performed with arms ( $r = 0.79$ ,  $p < 0.001$ ). No differences were found between the registration systems for jumps CMJ + b, whereas when there was used "test of Bosco" (CMJ) there were found clear differences ( $p < 0.001$ ).

**Key words:** Biomechanics. Vertical Jump. Force Platform. Photogrammetry 2D.

Marcos Gutiérrez-Dávila<sup>1</sup>  
Carmen Gutiérrez-Cruz<sup>2</sup>  
Juan Manuel Garrido<sup>3</sup>  
Javier F. Giles<sup>2</sup>

Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada  
<sup>1</sup>Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Catedrático de Universidad.  
<sup>2</sup>Estudiante de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Ayudante de Laboratorio.  
<sup>3</sup>Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

### CORRESPONDENCIA:

Marcos Gutiérrez-Dávila  
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte  
Departamento de Educación Física  
Ctra. Alfacar s/n 18011- Granada, (España)  
E-mail: marcosgd@ugr.es

**Aceptado:** 22.12.2011 / Original n° 597

## INTRODUCCIÓN

La altura alcanzada en el salto vertical ha constituido una medida de especial relevancia para los entrenadores y profesionales de la actividad física. Su registro se ha relacionado con la potencia de la musculatura de las extremidades inferiores<sup>1-4</sup> con la capacidad coordinativa<sup>5,6</sup> o con la prevención de lesiones<sup>7,8</sup>. A pesar de su relevancia y aparente sencillez de la medida, existen controversias sobre los diferentes protocolos utilizados para medir su registro.

Aunque en el ámbito del laboratorio es posible registrar el desplazamiento del Centro de masas (CM) con suficiente fiabilidad<sup>9</sup>, los sistemas de registro utilizados son complejos, costosos y requieren de personal especializado. Como alternativa, se han desarrollado sencillos protocolos que permiten registrar la altura de salto o el desplazamiento vertical del CM en condiciones de campo. Posiblemente el más generalizado sea el denominado "Test de Bosco"<sup>10</sup>. Este test constituye una batería de cuatro tipos de salto que pretenden evaluar diferentes características de la fuerza desarrollada por la musculatura de los miembros inferiores. Para su registro se utiliza una esterilla de contacto que registra el tiempo de vuelo, a partir del cual se obtiene el desplazamiento vertical del CM mediante una sencilla ecuación cinemática. Para que el sistema pueda funcionar correctamente, es necesario que el tiempo en que el CM del sujeto está en su fase de ascenso sea el mismo que el utilizado en su fase de descenso, por lo tanto, el sujeto debería despegar en la misma posición en la que vuelve a tomar contacto. Con el propósito de focalizar la actividad muscular en los miembros inferiores y, posiblemente también, para simplificar la medida del desplazamiento del CM, este protocolo requiere que el salto se realice con restricción segmentaria (sin acción de brazos y con flexión limitada de tronco). Aunque podría constituir un ejercicio analítico con acción focalizada en la musculatura de los miembros inferiores, la restricción segmentaria también podría constituir un problema ecológico que pondría en duda la validez de la medida cuando se pretende evaluar la capacidad de salto.

En investigaciones precedentes se indica que la acción de brazos contribuye entre un 9% y 11%, en los saltos verticales con contramovimiento, donde, entre el 28% y el 54% de este incremento, se debe a la mayor altura alcanzada por el CM en el despegue y, entre el 72% y el 46% restante, debido al incremento de la velocidad de despegue<sup>11-14</sup>. El aumento de la altura del CM en el despegue se debe a la influencia en la posición vertical de los brazos, mientras que para la explicación sobre incremento en la velocidad vertical del CM existen ciertas controversias. En este sentido, Lee *et al.*<sup>15</sup> han cuestionado las teorías convencionales relacionadas con la transmisión de fuerzas, así como su efecto sobre la acción de la musculatura relacionada con las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo, propuestas por Payne *et al.*;<sup>16</sup> Dapena and Chung<sup>17</sup> y Harman *et al.*<sup>12</sup> y han sugerido que el incremento de la velocidad de despegue podría estar relacionado con la interacción de varios mecanismos que permiten a los segmentos corporales acumular energía al principio del salto y transferirla al resto del cuerpo durante etapas posteriores del salto. A pesar de estas controversias, Feltner *et al.*<sup>14</sup> y Lee *et al.*,<sup>15</sup> han constatado que la acción de brazos incrementa el tiempo del impulso de aceleración vertical en un 7,5%, mientras que no afecta a la fuerza media aplicada durante el impulso de aceleración. Estos mismos autores también han puesto de manifiesto que la acción de brazos modifica los momentos de fuerza producidos por la musculatura extensora de la cadera, rodilla y tobillo. En cierto modo, tanto los datos empíricos como las explicaciones dadas, nos conducen a considerar que la acción de los brazos supone cambios en el modelo de salto que están relacionados con el tiempo de ejecución y la coordinación del movimiento.

Según los antecedentes expuestos, se podría cuestionar que los test de campo con restricción segmentaria midan realmente la capacidad de salto y menos aún la altura alcanzada por el CM. Así, los objetivos de esta investigación han sido: a) evaluar la contribución segmentaria en la altura alcanzada por el CM en el salto vertical con contramovimiento, b) proponer las ecuaciones de regresión que permitan predecir la altura de salto con acción de brazos (CMJ+b), a partir del pro-

toloco de salto realizado con contramivimiento y restricción segmentaria (CMJ) y c) verificar el grado de acuerdo entre el desplazamiento vertical del CM, registrado a partir del tiempo de vuelo y el registrado mediante la integración de las fuerzas verticales de reacción.

## MATERIAL Y MÉTODO

Han participado 29 estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (talla=  $1.79 \pm 0.07$  m; masa=  $71,6 \pm 9,9$  Kg), utilizando para su selección el criterio de haber participado 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, sincronizada temporalmente a una cámara de vídeo, Casio EX - FH20, que registraba a 210 Hz el plano sagital de los saltos realizados sobre la plataforma. Tras un calentamiento general, los sujetos recibieron las instrucciones para las dos condiciones de salto propuestas (CMJ+b y CMJ) y, a continuación realizaron los saltos necesarios hasta familiarizarse con los sistemas de registro. En la situación CMJ+b, los sujetos debían realizar un salto máximo partiendo de una posición erguida sobre la plataforma de fuerzas y utilizando libremente todos sus segmentos. En la condición CMJ, los sujetos debían realizar un salto máximo partiendo de una posición erguida con las manos sobre las crestas iliacas y con las instrucciones de mantener las manos en esa posición y el tronco erguido durante la realización del salto. 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. Para determinar la altura inicial del CM de los sujetos ( $H_{CM(0)}$ ) se han utilizado las coordenadas planas procedentes de la digitalización manual de los puntos que definen el modelo de catorce segmentos corporales, junto a los pa-

rámetros inerciales propuestos por Zatsiorsky & Seluyanov<sup>18</sup> y adaptados por Leva<sup>19</sup>.

Siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez-Dávila *et al.*,<sup>20</sup> en cada ensayo se determinó el posible error sistemático procedente de la plataforma de fuerza. Para ello se calculó la media de los 20 registros sucesivos de la fuerza vertical después del despegue. Los registros relativos a la componente vertical de la velocidad y altura en el despegue del CM ( $v_{CM(Z)}$  y  $H_{CM}$ ), se determinaron a partir de la componente vertical de la fuerza de reacción procedente de la plataforma de fuerza ( $F_{(Z)}$ ). Para ello, después de restar a  $F_{(Z)}$  el posible error sistemático y el peso del sujeto, se calcularon las componentes de aceleración vertical, a partir de  $F_{(Z)}$  y la masa del saltador. Las sucesivas velocidades de componente vertical se determinaron mediante integración de la componente vertical de la función aceleración-tiempo. Finalmente, las sucesivas posiciones verticales del CM, se determinaron mediante integración de la componente vertical de la función velocidad-tiempo, usando para ello el método trapezoidal. Las constantes de integración fueron cero y  $H_{CM(0)}$ , para la y velocidad vertical y altura, respectivamente.

El instante de despegue ( $t_{(DESPEGUE)}$ ) se determinó a partir de  $F_{(Z)}$ , estimándose en 0,001 s (mitad del intervalo de registro) antes de que el registro  $F_{(Z)}$  tomara un valor menor de 2 N. La altura y velocidad vertical del CM en el instante del despegue ( $H_{CM(DESPEGUE)}$  y  $v_{CM(Z)(DESPEGUE)}$ , respectivamente), se consideraron como la altura y velocidad vertical media del CM para ese mismo intervalo. La fase de impulso de aceleración ( $t_{(ACELERACIÓN)}$ ), se ha considerado como el periodo comprendido entre el instante en que se produce la mínima altura del CM ( $H_{CM(MIN)}$ ) y ( $t_{(DESPEGUE)}$ ). Para determinar el desplazamiento vertical del CM se han utilizado dos métodos: a) Mediante la componente vertical de la velocidad del CG en el despegue, donde  $S_{CM(Z)} = (v_{CM(Z)(DESPEGUE)})^2/2g$ , y b) a partir del tiempo de vuelo ( $t$ ), donde  $S_{CM(Z)(TIEMPO)} = gt^2/8$ .

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 para medidas

repetidas (multifactorial ANOVA) para las dos situaciones experimentales propuestas (CMJ+b y CMJ), así como un análisis de regresión simple, donde se han utilizado como variables dependientes la altura del CM en el despegue y su posterior desplazamiento vertical en la situación donde no existía restricción segmentaria ( $H_{CM(DESPEGUE)}$  (CMJ+b) y  $S_{CM(Z)}$  (CMJ+b), respectivamente).

## RESULTADOS

Cuando se realizan los saltos verticales sin restricción segmentaria, la altura de despegue ( $H_{CM(DESPEGUE)}$ ) y el desplazamiento vertical del CM ( $S_{CM(Z)}$ ), se incrementan, de forma significativa, una media de  $0.07 \pm 0.06$  m y  $0.11 \pm 0.04$  m, respectivamente ( $p < 0.001$ ; ver Tabla 1). La altura mínima alcanzada por el CM ( $H_{CM(MIN)}$ ) ha sido significativamente menor para CMJ+b ( $p < 0.01$ ), lo que sumado a la mayor altura

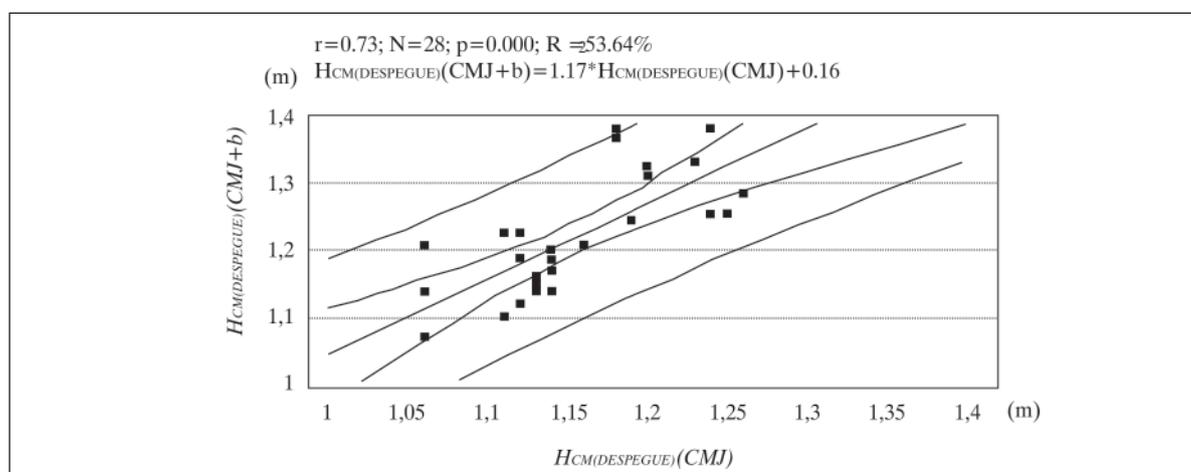
alcanzada en el despegue, hace que la distancia de aceleración del CM ( $S_{CM(Z)(ACELERACION)}$ ) sea significativamente mayor cuando el salto se realiza con acción de brazos ( $p < 0.001$ ; ver Tabla 1). Finalmente, en la Tabla 1, también se presentan los datos de tendencia central relativos al tiempo utilizado para realizar el impulso de aceleración vertical ( $t_{(ACELERACION)}$ ) y la fuerza media desarrollada durante ese mismo periodo, expresada en N, después de restar el peso del sujeto ( $Fm_{(Z)(ACELERACION)}$ ). Los datos ponen de manifiesto que  $t_{(ACELERACION)}$  es significativamente mayor cuando el salto se realiza con acción de brazos ( $p < 0.001$ ). Así, para un saltador promedio,  $t_{(ACELERACION)}$  sería de 0.301 s en la condición CMJ+b y de 0.250 para CMJ, lo que constituye un incremento medio de 0.051 s en el tiempo utilizado en realizar el impulso de aceleración. Por el contrario, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en  $Fm_{(Z)(ACELERACION)}$ .

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

| VARIABLES                    | CMJ               | CMJ+b             | DIF<br>(CMJ+b-CMJ) | F        |
|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------|
| $H_{CM(DESPEGUE)}$ (m)       | $1.15 \pm 0.06$   | $1.22 \pm 0.09$   | $0.07 \pm 0.06$    | 32.42*** |
| $S_{CM(Z)}$ (m)              | $0.30 \pm 0.04$   | $0.41 \pm 0.06$   | $0.11 \pm 0.04$    | 188,7*** |
| $H_{CM(MIN)}$ (m)            | $0.76 \pm 0.08$   | $0.71 \pm 0,10$   | $-0,06 \pm 0,08$   | 12.14**  |
| $S_{CM(Z)(ACELERACION)}$ (m) | $0,39 \pm 0,07$   | $0,52 \pm 0,08$   | $0,12 \pm 0,09$    | 44.41*** |
| $t_{(ACELERACION)}$ (s)      | $0,250 \pm 0,046$ | $0,301 \pm 0,084$ | $0,051 \pm 0,067$  | 16.01*** |
| $Fm_{(Z)(ACELERACION)}$ (N)  | $724,3 \pm 169,9$ | $715,7 \pm 237,9$ | $-8,5 \pm 99,7$    | 0,17     |

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$

**FIGURA 1.**  
Relación entre la  
altura vertical  
del CM en el  
instante del  
despegue, sin  
restricción  
segmentaria,  
( $H_{CM(DESPEGUE)}$ (CMJ+b))  
y con  
restricción  
segmentaria  
( $H_{CM(DESPEGUE)}$ (CMJ)).



Con respecto al segundo problema planteado en este trabajo, donde se trataba de establecer las ecuaciones de regresión que permitan predecir la altura de salto con acción de brazos (CMJ+b), a partir del protocolo de salto realizado con contramivimiento y restricción segmentaria (CMJ), en la Figura 1 se presenta la relación ente la altura vertical del CM, en el instante del despegue, sin y con restricción segmentaria, ( $H_{CM(DESPÉGUE)}(CMJ+b)$  y  $H_{CM(DESPÉGUE)}(CMJ)$ , respectivamente). Los resultados estadísticos ponen de manifiesto que existe una correlación lineal positiva de la posición del CM en el instante del despegue entre las dos condiciones de salto propuestas ( $r=0.73$ ;  $p<0.000$ ). Por el contrario, cuando los datos se expresan en porcentaje de la talla de los sujetos, no podemos confirmar estadísticamente que exista correlación entre las dos variables ( $r=0.24$ ;  $p=0.22$ , ver Figura 2). Con respecto al desplazamiento vertical del CM después del despegue ( $S_{CM(Z)}$ ), existe una clara correlación positiva entre el desplazamiento vertical del CM, cuando el salto se realiza sin restricción segmentaria ( $S_{CM(Z)}(CMJ+b)$ ) y el realizado con restricción segmentaria ( $S_{CM(Z)}(CMJ)$ ), ( $r=0.79$ ;  $ES_{(est.)}=0.04$ ;  $p<0.000$ , ver Figura 3), con una ecuación de regresión donde  $S_{CM(Z)}(CMJ+b) = 1.15 \times S_{CM(Z)}(CMJ) + 0.06$ .

Finalmente, para verificar el grado de acuerdo entre los dos procedimientos utilizados para determinar el desplazamiento vertical del CM después del despegue, en la Tabla 2 se presenta la estadística inferencial entre las medias obtenidas cuando el registro se realiza a partir del tiempo de vuelo ( $S_{CM(Z) VUELO}$ ) y cuando se realiza a partir de las fuerzas verticales registrada en la plataforma de fuerza ( $S_{CM(Z)}$ ), para las dos situaciones experimentales propuestas. Los datos ponen de

manifiesto que cuando el salto se realiza con restricción segmentaria (CMJ), el  $S_{CM(Z) VUELO}$  es significativamente mayor que  $S_{CM(Z)}$  ( $p<0.001$ ). Así, para un saltador promedio, cuando el cálculo se hace a partir del tiempo de vuelo, el desplazamiento vertical del CM sería 0.02 m mayor que cuando el cálculo se realiza a partir de la fuerza vertical. Por el contrario, cuando el salto vertical se realiza sin restricción segmentaria (CMJ+b), no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas.

### DISCUSIÓN

Para un saltador promedio de la muestra utilizada en este estudio, la altura alcanzada por el CM cuando se utilizan libremente los todos los segmentos sería de 1.63 m (CMJ+b) y de 1.45 cuando el salto se realiza con la restricción segmentaria propuesta en el protocolo del test de Bosco (CMJ), lo que supone un incremento de 0.18 m, es decir, el 12% de la altura del salto. Estos datos son algo superiores a los obtenidos por Harman *et al.*,<sup>12</sup> Feltner *et al.*<sup>14</sup> y Lee *et al.*,<sup>15</sup> los cuales han informaron de incrementos entre el 9% y el 11%. Esta discrepancia podría estar relacionada con las instrucciones dadas para restringir la acción del tronco, como se propone en el “test de Bosco”. El 39% de este incremento se debió a la posición del CM en el despegue y el 61% restante al desplazamiento vertical del CM. Estos resultados son similares a los aportados por Feltner *et al.*<sup>13</sup> y Feltner *et al.*<sup>14</sup> los cuales han informado de contribuciones de la velocidad vertical en el despegue, entre el 60% y el 46%, respectivamente y algo inferior a los datos aportados por Lee *et al.*,<sup>15</sup> donde se informa de un incremento del 72%.

**TABLA 2.** Estadística descriptiva e inferencial del desplazamiento vertical del CM, determinado a partir del tiempo de vuelo ( $S_{CM(Z) VUELO}$ ) y las fuerzas verticales ( $S_{CM(Z)}$ ), para las dos situaciones experimentales propuestas (CMJ y CMJ+b)

| Tipo de salto | $S_{CM(Z) VUELO}$ | $S_{CM(Z)}$ | DIF<br>( $S_{CM(Z)} - S_{CM(Z) VUELO}$ ) | F        |
|---------------|-------------------|-------------|--|----------|
| CMJ           | 0,32 ± 0,04       | 0,30 ± 0,04 | -0,02 ± 0,02                             | 25,27*** |
| CMJ+b         | 0,42 ± 0,06       | 0,41 ± 0,07 | 0,01 ± 0,03                              | 3,37     |

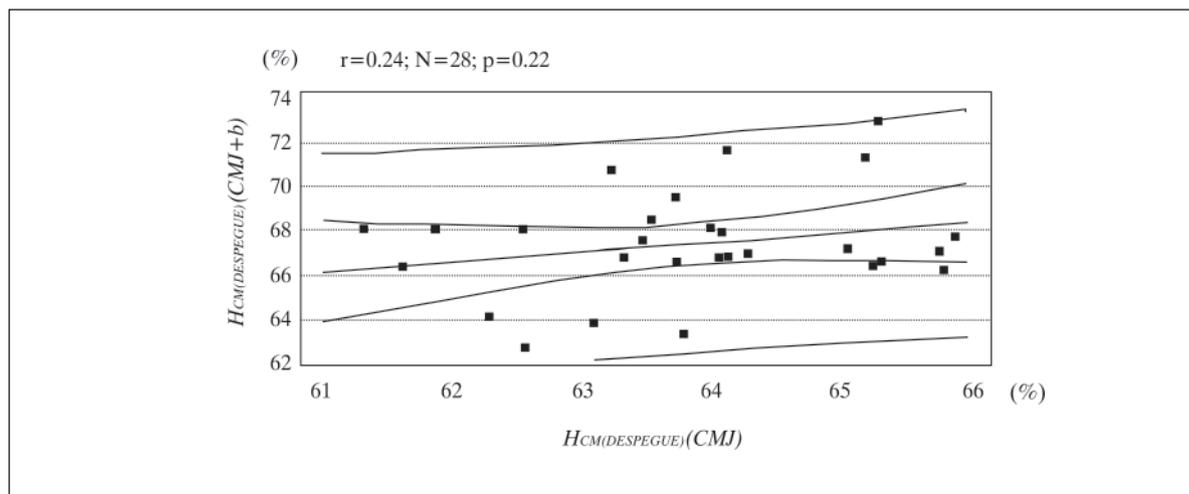
\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$

El incremento de la altura del CM en el despegue, tiene su origen en la posición de los brazos, los cuales, debido a las condiciones exigidas en el protocolo, estarán más altos cuando no existe restricción segmentaria. Con respecto a la contribución de la velocidad vertical en el despegue, la explicación es más compleja, pudiendo estar relacionada con la interacción de varios mecanismos que facilitan la transferencia de energía segmentaria durante el impulso de aceleración<sup>15</sup>. Desde una perspectiva matemática, el hecho de haber obtenido una mayor velocidad vertical en el despegue, cuando el salto se realiza sin restricción segmentaria (CMJ+b), necesariamente tendrá su origen en un mayor impulso vertical durante la fase de aceleración. En este sentido, los datos expuestos en la Tabla 1, ponen de manifiesto que el incremento del impulso vertical de aceleración es debido al tiempo de aplicación de fuerza y no a la fuerza media aplicada. Estos resultados confirman los datos aportados por Feltner *et al.*,<sup>14</sup> aunque el porcentaje en el incremento de tiempo en la fase de aceleración, aportado por estos autores (7.5%), es inferior al registrado en nuestro estudio (20.4%). Una vez más, esta discrepancia la atribuimos a las instrucciones dadas para restringir la acción del tronco durante el salto, lo que provocaría una reducción del desplazamiento del CM hacia abajo antes de iniciar el impulso de aceleración (Tabla 1). Por otra parte, los datos temporales aportados por estos autores para los saltos realizados con acción de brazos (CMJ+b), son similares a los obtenidos en este estudio, por lo que la discrepancia se debe focalizar sólo en los datos temporales registrados para los saltos realizados con restricción segmentaria, lo que confirma la justificación dada.

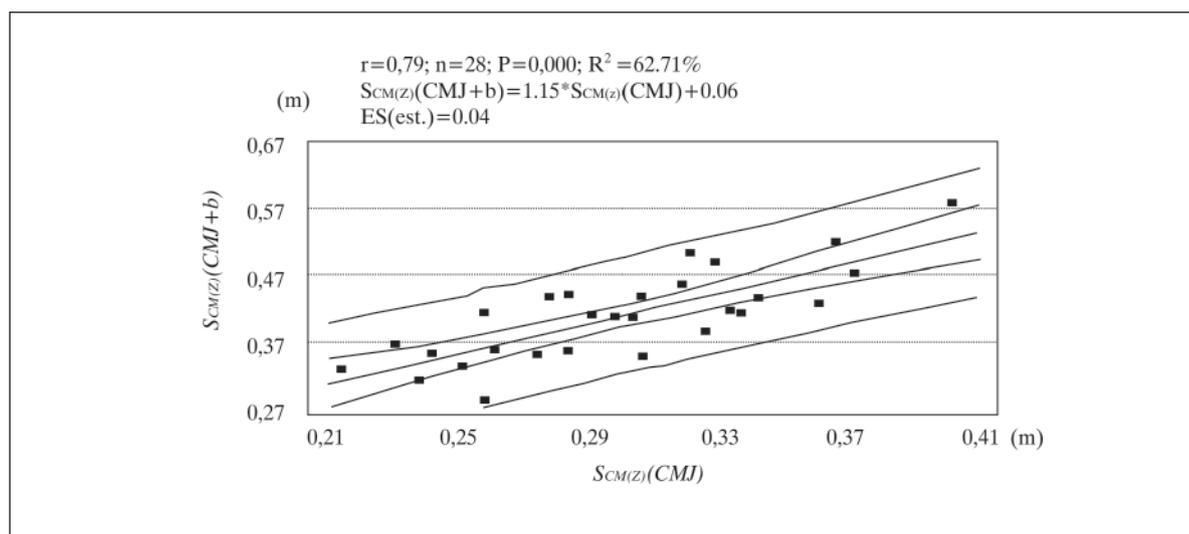
Las correlaciones expuestas en las Figuras 1 y 2, ponen de manifiesto que la relación entre altura del CM en el despegue, con y sin restricción segmentaria, es debida a la talla de los sujetos. Cuando estas variables se expresan en porcentaje a la talla, podemos decir que son independientes entre sí. Sin embargo, los datos ponen de manifiesto que cuando se incrementa el desplazamiento vertical del CM en las condiciones propuestas en el “test de Bosco” (con restricción segmentaria), también se incrementa

para los saltos realizados sin restricción segmentaria. El alto valor del coeficiente de correlación ( $r=0.79$ ), un reducido error estándar de estimación ( $ES(est.)=0.04$ ) y un coeficiente de determinación relativamente alto (62.71%), nos permiten predecir con suficiente confiabilidad la dependencia entre estas dos variables. Esta relación tendría su explicación en la importante contribución de los miembros inferiores en el desplazamiento vertical del CM,<sup>2-4</sup> aunque debemos ser cautos al predecir la altura alcanzada por el CM a partir del “test de Bosco CMJ”, ya que, además de no tener en cuenta la altura del CM en el despegue, es necesario considerar las modificaciones temporales que se producen durante el impulso de aceleración. Según los datos expuestos y las aportaciones de Harman *et al.*,<sup>12</sup> Lee *et al.*<sup>15</sup> y Feltner *et al.*,<sup>14</sup> donde se pone de manifiesto que la participación segmentaria incrementa el tiempo de aceleración y modifica los momentos de fuerza ejercidos por la musculatura extensora de los miembros inferiores, consideramos que la restricción segmentaria debería producir cambios importantes en la coordinación y participación de la musculatura extensora de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo, lo que nos alejaría de la especificidad del movimiento, ya que en el ámbito deportivo real, el salto vertical no suele ejecutarse con restricción segmentaria (manteniendo las manos en las cadera y el tronco erguido).

Con respecto al grado de acuerdo entre los dos procedimientos utilizados para determinar el desplazamiento vertical del CM, después del despegue, los resultados son diferentes según el tipo de salto analizado. Cuando se realiza el “test de Bosco” (CMJ) y el desplazamiento vertical del CM se determina a partir del tiempo de vuelo, el resultado es un 6.6% mayor que cuando éste se determina a partir de las fuerzas verticales. Considerando las limitaciones propuestas en la participación segmentaria, este incremento debería responder a que el CM está más bajo en la recepción que en el despegue. Aunque en este estudio no se ha registrado la altura del CM en la recepción, nuestras observaciones, así como las aportaciones de Rojano *et al.*,<sup>8</sup> donde se pone de manifiesto que la recepción de los saltos se



**FIGURA 2.** Relación ente la altura vertical del CM en el instante del despegue, sin restricción segmentaria,  $(H_{CM(DESPEGUE)}(CMJ+b))$  y con restricción segmentaria  $(H_{CM(DESPEGUE)}(CMJ))$ , expresada en porcentaje de la altura



**FIGURA 3.** Relación ente el desplazamiento vertical sin restricción segmentaria  $(S_{CM(Z)}(CMJ+b))$  y con restricción segmentaria  $(S_{CM(Z)}(CMJ))$

suele iniciar con los metatarsianos, nos permiten plantear esta hipótesis. Sin embargo, cuando el salto se realiza libre (con acción de brazos), no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas entre las dos formas de determinar el desplazamiento vertical. Nuestras observaciones nos hacen pensar que la menor altura del CM en la recepción, debida a un apoyo de metatarsianos, es compensada por la mayor altura del CM, debida a la posición más alta de los brazos en la recepción que en el despegue, aunque esta hipótesis debe ser contrastada empíricamente en próximas investigación.

## CONCLUSIONES

Con respecto al primero de los objetivos, donde se pretendía evaluar la contribución segmentaria en la altura alcanzada por el CM, se ha constatado que, cuando el salto se realiza libre, sin restricción segmentaria (CMJ+b), la altura alcanzada por el CM se incrementa un 12%. El 39% de este incremento se debió a la posición del CM en el despegue y el 61% restante al desplazamiento vertical del CM. Sorprendentemente, los datos han puesto de manifiesto que el incremento producido en el desplazamiento vertical

del CM, cuando el salto se realiza sin restricción segmentaria, se debió al tiempo utilizado durante el impulso de aceleración y no al incremento de la fuerza media durante esa misma fase.

Las respuestas al segundo de los objetivos, donde se pretendía verificar la posible relación entre los dos tipos de salto, se constata que, cuando se incrementa el desplazamiento vertical del CM para los saltos con restricción segmentaria (CMJ), también se incrementa para los saltos realizados sin restricción (CMJ+b). A pesar de ello, deberíamos ser cautos al predecir la altura alcanzada por el CM a partir del “test de Bosco CMJ”, ya que, además de no tener en cuenta la altura del CM en el despegue, es necesario considerar que los cambios que se producen en

la estructura temporal del movimiento, modifican necesariamente la coordinación del movimiento, así como la secuencia de participación muscular.

Finalmente, con respecto al último de los objetivos, donde se pretendía verificar el grado de acuerdo entre el desplazamiento vertical del CM, registrado a partir del tiempo de vuelo y el registrado mediante la integración de las fuerzas verticales de reacción, al contrario de lo que se había estimado, no se han encontrado diferencias entre los dos sistemas de registro para los saltos realizados sin restricción segmentaria CMJ+b, mientras que cuando se utiliza el “test de Bosco” (CMJ) han existido claras diferencias.

## B I B L I O G R A F Í A

- Komi, P, and Bosco, C.** Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 1978;10:261-265.
- Luhtanen, P. and Komi, R.V.** Segmental contribution to forces in vertical jump. *Eur J Appl Physiol* 1978;38,181-188.
- Tidow, G.** Aspects of strength training in athletics. *New Studies in Athletics* 1990;1:93-110.
- Tricoli V, Lamas L, Carnevale R, Ugrinowitsch, C.** Short-term effects on lower-body functional power development: Weightlifting vs. vertical jump training programs. *J Strength Cond Res* 2005;19:433-437.
- Eloranta V.** Influence of sports background on leg muscle coordination in vertical jumps. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2003;43:141-156.
- Tomioka M, TM, Owings TM, Grabiner MD.** Lower extremity strength and coordination are independent contributors to maximum vertical jump height. *J Appl Biomech* 2001;17:181-187.
- Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, Hewett TE.** Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res* 2005;19:51-60.
- Rojano D, Rodríguez, E.C. and Berral, F.J.** Analysis of the vertical ground reaction forces and temporal factors in the landing phase of a countermovement jump. *J Sports Sci Med* 2010;9:282-287.
- Aragón-Vargas, L. F.** Evaluation of four vertical jump tests: Methodology, reliability, validity and accuracy. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2000;4:215-228.
- Villa, JG, García-López, J.** Tests de salto vertical (I): Aspectos funcionales. *Revista Digital: Rendimiento Deportivo.com* 2003;6:1-14.
- Shetty AB, Etnyre BR.** Contribution of arm movement to the force components of maximal vertical jump. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;11:198-201.
- Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM.** The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:825-833.
- Feltner ME, Frascetti DJ, Crisp RJ.** Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps. *J Sports Sci* 1999;17:449-466.
- Felner ME, Bishop EJ, Perez CM.** Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Res Q Exerc Sport* 2004;75:3:216-230.

15. **Lee A, Vanrenterghem J, Clerc D.** Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *J Biomech* 2004;37:1929-1940.
16. **Payne AH, Slater WJ, Telford T.** Use of force platform in the study of athletic activities. *Ergonomics* 1968;11:123-146.
17. **Dapena, J. and Chung, C.S.** Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Med Sci Sports Exerc* 1988;20(3): 290-302.
18. **Zatsiorsky VM, Seluyanov NV.** 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 1983;1152-1159.
19. **Leva, De, P.** Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanovs segment inertia parameters. *J Biomech* 1996; 29(9):1223-1230.
20. **Gutiérrez-Dávila M, Dapena J, Campos J.** The effect of muscular pre-tensing on the sprint start. *J Appl Biomech* 2006;22(3):194-201.