

Contribución segmentaria en los saltos con contramovimiento en vertical y en horizontal

Segmental contribution on countermovement vertical and horizontal jumps

Marcos Gutiérrez-Dávila, Juan Manuel Garrido, F. José Amaro, Francisco J. Rojas

Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Granada

Resumen

El propósito ha sido realizar un análisis dinámico y cinemático sobre los saltos verticales (SV) y horizontales (SH) y cuantificar la aportación de los segmentos corporales al desplazamiento del centro de masa (CM) durante la fase de propulsión. Han participado 28 deportistas practicantes de modalidades deportivas donde el salto vertical constituye una habilidad básica. Se ha utilizado una plataforma de fuerza, operando a 500 Hz, sincronizada temporalmente a una cámara de vídeo a 210 Hz que registraba el plano sagital de los saltos. Los saltos han sido considerados como un movimiento simétrico que se desarrolla en un plano, compuesto por un modelo mecánico coordinado simplificado de ocho segmentos. En la condición SV, los participantes debían de realizar un salto vertical máximo partiendo de una posición erguida sobre la plataforma de fuerza. En la condición SH, los participantes debían realizar un salto máximo en horizontal desde la misma posición. El tiempo de batida ha sido superior en SH con respecto a SV, (0.898 vs 1.056 s), constatándose una estrategia de rotación-extensión para SH. Los resultados ponen de manifiesto que la fuerza neta ejercida durante el impulso de frenado es mayor para SV debido a la mayor velocidad radial al inicio del impulso de frenado (-1.166 vs -0.992 m/s). Existe una mayor participación de las articulaciones del tobillo y la cadera plasmada en la mayor contribución del tronco en SH durante toda la batida, además de constatarse una mayor contribución de las extremidades superiores al desplazamiento vertical del CM en SV.

Palabras clave: Biomecánica; fotogrametría 2D; dinamometría; salto vertical y horizontal.

Abstract

The main aim of this research was a dynamics and kinematics analysis of vertical (SV) and horizontal (SH) jumps and quantify the body segments' contribution to center of mass, CM, displacement during the propulsion phase. 28 athletes from different sport modalities where the vertical jump is a basic skill have participated. We used a force platform, operating at 500 Hz, time-synchronized to a video camera that recorded at 210 Hz the sagittal plane of the jumps performed on the platform. The jumps have been considered as a symmetrical movement taking place in a plane, with a mechanical coordinated model of eight segments. In the SV condition, participants had to perform a maximum vertical jump, starting from a standing position on the force platform. In the SH condition, participants had to perform a maximal horizontal jump starting from the same position. The results show a greater time for the jump in SH, (0.898 vs 1.056 s) using a strategy extension-rotation in the horizontal jumps. The net force exerted during the braking impulse is higher for SV due to the greater velocity at the beginning of this phase (-1.166 vs -0.992 m/s). There was a greater involvement of the ankle and hip in SH, with a higher contribution of the trunk during the jump, also there was a greater contribution of the arms to the vertical displacement of the CM in SV.

Key words: Biomechanics; 2D photogrammetric; kinetics; vertical and horizontal jumps.

Correspondencia/correspondence: F. Javier Rojas Ruiz
Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Granada
C/Alfacar s/n, 18071 Granada España
Email: fjrojas@ugr.es

Introducción

Son numerosas las investigaciones que han tratado como objeto de estudio el salto vertical. El hecho de considerarlo como un movimiento básico para muchos deportes (voleibol, baloncesto, fútbol, etc.), además de constituir un test de campo de especial relevancia para evaluar las capacidades coordinativas de los deportistas (Eloranta, 2003; Tomioka, Owings y Grabinener, 2001) o la potencia muscular de las extremidades inferiores (Komi y Bosco, 1978; Nagano y Gerritsen, 2001; Tricoli, Lamas, Carnevale y Ugrinowitsch, 2005), justifica el interés que han tenido los investigadores por describir y dar las explicaciones causales de su eficiencia. Comparado con la prolifera producción científica indicada para el salto vertical, son escasas las investigaciones que han tratado el salto en horizontal. Sin embargo, esta modalidad también suele constituir un movimiento básico para ciertas actividades deportivas, además de haberse utilizado frecuentemente como test de campo, con el propósito de evaluar la coordinación y potencia muscular de los miembros inferiores (Aguado, Izquierdo y Montesinos, 1997; García-Lopez y Herrero-Alonso, 2005; Markovic, Dizdar, Jukic y Cardinale, 2004; Maulder y Cronin, 2005).

El justificado interés que han tenido los investigadores por el estudio del salto vertical, ha hecho que existan numerosas investigaciones acerca del efecto que tiene la contribución segmentaria y, especialmente, la acción de las extremidades superiores, en el rendimiento de los saltos verticales con contramovimiento (Aragón-Vargas, 2000; Feltner, Bishop y Perez, 2004; Feltner, Frascetti y Crisp, 1999; Harman, Rosenstein, Frykman y Rosenstein, 1990; Lees, Vanrenterghem y Clercq, 2004; Luhtanen y Komi, 1978; Tidow, 1990). Sin embargo, sólo algunas investigaciones que han tratado de comparar los saltos verticales con los realizados en horizontal, han aportado ciertos datos sobre la contribución segmentaria de los saltos en horizontal.

Así, Ridderikhoff, Batelaan y Bobbert (1999), utilizando técnicas de simulación por ordenador, compararon saltos verticales con horizontales partiendo desde cuclillas (sin contramovimiento), poniendo de manifiesto que, cuando se realizan los saltos en horizontal, el cuerpo gira hacia delante utilizando un eje de rotación situado en la articulación del tobillo. Una estrategia que denominaron de “rotación-extensión” que provoca una mayor actividad de la articulación de la cadera, aunque no encontraron diferencias en la velocidad resultante del CM en el instante del despegue para los dos tipos de salto. Un aspecto que no se ha podido confirmar para los saltos con contramovimiento, donde la velocidad resultante del CM en el despegue es mayor para los saltos en horizontal (Fukashiro, Besier, Barret, Cochrane, Nagano y Lloid, 2005; Nagano, Komura y Fukashiro, 2007). En este sentido comparado, Ball y Zanetti (2012) analizaron los saltos verticales y horizontales tras caída previa (drop jump), comprobando que los saltos horizontales precisaban mayor tiempo de batida que los saltos verticales.

Los datos reportados en investigaciones precedentes para los dos tipos de salto, partiendo desde una posición erguida (con contramovimiento), parecen confirmar una mayor actividad muscular del psoas ilíaco y recto femoral sobre la articulación de la cadera para los saltos en horizontal (Nagano y col., 2007; Ridderikhoff y col., 1999), lo que sugiere una mayor contribución del tronco a la velocidad del CM en el despegue, aunque su actividad comenzaría durante la fase de contramovimiento, con el propósito de desplazar el CM hacia delante antes de iniciar la fase de aceleración (Jones y Caldwell, 1996). Fukashiro, y col. (2005), sugieren que el desplazamiento del tronco hacia delante incrementa el tiempo de batida para los saltos en horizontal. Aunque las investigaciones referenciadas son novedosas en cuanto al análisis dinámico y de participación muscular para los dos tipos de saltos, es

necesario indicar que la actividad muscular se deriva mediante técnicas de simulación y fotogramétricas por ordenador y que se restringe la participación de las extremidades superiores en sus protocolos.

Efectivamente, investigaciones precedentes indican que la participación activa de las extremidades superiores en los saltos verticales incrementa el tiempo de batida, así como la altura y la velocidad del CM en el despegue (Domire y Challis, 2010; Feltner y col., 1999; Feltner y col., 2004; Gutiérrez-Dávila, Gutiérrez-Cruz, Garrido y Giles, 2012; Harman y col., 1990; Lees, y col., 2004). Estos mismos autores también han sugerido que la acción de las extremidades superiores modifica los momentos de fuerza, la potencia y el trabajo muscular realizado sobre las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo, e incrementa la fuerza neta de reacción durante la fase de aceleración vertical. Para los saltos en horizontal, Ashby y Heegaard (2002), han puesto de manifiesto que la participación de las extremidades superiores incrementó la distancia horizontal alcanzada en el salto un 21.2%. De este incremento del 21.2%, el 71% fue debido al aumento de la velocidad del CM en el despegue, y el 29% restante al mayor desplazamiento horizontal.

La escasa información acerca de la contribución segmentaria que se produce durante los saltos en horizontal con contramovimiento, junto a las características metodológicas y de protocolo que se han descrito para los trabajos donde se comparan saltos verticales con horizontales, hacen necesario abordar una investigación donde, además de realizar un análisis dinámico y cinemático, se cuantifique la aportación de los segmentos corporales al desplazamiento del CM del cuerpo durante las fases de propulsión en los dos tipos de saltos. Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos, podríamos considerar como hipótesis, que el tiempo de batida será mayor para los saltos horizontales, aunque este incremento será debido al mayor tiempo utilizado para desplazar el tronco hacia delante durante la fase de contramovimiento. La velocidad radial del CM en el despegue será mayor para los saltos horizontales y la mayor actividad muscular sobre la articulación de la cadera será debida a la contribución vertical del tronco.

Método

Participantes

Han participado 28 estudiantes masculinos de la Facultad de Ciencias del Deporte (talla=1.79±0.06 m; masa=75.7±8.3 Kg; edad=21.3±3.1 años), utilizando para su selección el criterio de haber participado en deportes donde al salto vertical constituye una habilidad básica (ligas nacionales de baloncesto, voleibol, balonmano y fútbol). 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.

Material y procedimientos

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. Para la sincronización temporal, se utilizó un sistema electrónico que encendía un led en el campo activo de la cámara al iniciarse el registro de la plataforma.

Después de un calentamiento igual para todos, los participantes recibieron las instrucciones para realizar las dos condiciones de saltos. En la condición de salto vertical (SV), los participantes debían de realizar un salto vertical máximo partiendo de una posición erguida sobre la plataforma de fuerzas, desplazando las extremidades superiores hacia atrás y hacia

arriba de forma simultánea al desplazamiento hacia abajo del CM. En la condición de salto en horizontal (SH), los participantes debían realizar un salto máximo partiendo de una posición erguida, intentando alcanzar la máxima distancia horizontal y desplazando las extremidades superiores hacia atrás y hacia arriba de forma simultánea al desplazamiento hacia abajo del CM. Los participantes utilizaron la profundidad del contramovimiento que habitualmente utilizan en esta habilidad básica de salto para obtener el máximo rendimiento. Se ha tenido en cuenta el factor sujeto en el análisis estadístico inferencial para que la técnica individual de cada sujeto no fuera un condicionante.

Antes de comenzar las sesiones de registro, los participantes realizaron un calentamiento consistente en carrera continua durante 5 minutos y entre 3 y 5 saltos en las dos condiciones para adaptarse a los sistemas de registro. A continuación, se realizó una sesión de cinco saltos válidos para cada condición. Entre cada repetición se emplearon entre 30 y 40 s de recuperación y un intervalo de descanso de 3 minutos entre cada sesión. Para cada condición, sólo se analizaron los saltos cuyo tiempo de vuelo era el valor mediano de los cinco. El orden de ejecución de las sesiones (condiciones SV y SH) fue alterado aleatoriamente entre los sujetos.

Registro de datos y cálculo de las variables

Para cada ensayo, se determinó el posible error sistemático procedente de la plataforma de fuerzas a partir de la media de los 20 registros sucesivos de las componentes vertical y horizontal después del despegue (F_z y F_x , respectivamente). Los registros de las velocidades y la posición del CM, 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 F_z y F_x el posible error sistemático y el peso del sujeto (sólo para F_z), se calcularon la aceleración horizontal y vertical, a partir de las respectivas componentes de la fuerza y la masa del saltador. Finalmente, los sucesivos registros de las velocidades vertical y horizontal de la velocidad ($v_{(z)CM}$ y $v_{(x)CM}$, respectivamente) y las posiciones (Y_{CM} e X_{CM} , respectivamente), se determinaron mediante integración de las funciones de aceleración-tiempo, usando para ello el método trapezoidal con un incremento temporal de 0.002 s. Como constante de integración para la componente vertical se utilizó la altura inicial del CM en la posición inicial de cada participante y para la horizontal se asignó un valor 0 m para todos los sujetos. Para la determinación de la altura inicial del CM, se utilizó una plataforma rectangular de Reynolds y Lovett, siguiendo el método descrito por Gutiérrez-Davila (1998, p.: 103). El instante de despegue de la plataforma ($t_{(DESPEGUE)}$), se determinó 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 menor de 2 N.

Para el análisis de los movimientos del CM, se ha registrado una distancia radial del CM (DR_{CM}). Dicha distancia se ha definido como un vector 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 estos están plenamente apoyados en la plataforma. A partir de los cambios en la distancia radial, con respecto al tiempo, se determinó la velocidad radial ($v_{(DR)CM}$), utilizando para ello, la función splines de quinto grado.

A lo largo del movimiento, se han digitalizado de forma manual las imágenes de vídeo a una frecuencia de 70 Hz mediante el software Cyborg 2.0 (Gutiérrez, Soto y Martínez, 1990) desde la posición inicial erguida hasta el despegue de los pies del suelo. Para simplificar el proceso, los saltos han sido considerados como un movimiento simétrico que se desarrolla en el plano, lo que nos ha permitido utilizar un modelo coordinado simplificado de ocho segmentos, definidos por 12 marcadores situados en el cuerpo del saltador (extremos anterior

y posterior del pie; centros articulares del tobillo, rodilla, cadera, codo y muñeca; 3° metacarpiano de la mano; hueco supraesternal; ángulo del maxilar y vértex). La posición de los marcadores se estableció según el modelo y los parámetros inerciales propuestos por Zatsiorsky y Seluyanov (1985) y adaptados por de Leva (1996). En este modelo simplificado, la masa de los segmentos correspondientes a las extremidades, se ha considerado como la suma de los dos segmentos. Las coordenadas planas de los 12 marcadores corporales fueron suavizadas mediante un filtro digital de paso bajo, a 8 Hz (Winter, 1990) e interpolados a 500 Hz, mediante splines de quinto grado (Wood y Jennings, 1979). Antes de comenzar el registro de los saltos, se filmó un sistema de referencia consistente en un cubo de 2 x 2 x 0.5 m, con un marcador en cada vértice, colocado perpendicularmente a la cámara sobre la plataforma de fuerza. El plano medio formado entre los 8 vértices ha permitido la conversión de las coordenadas digitalizadas en datos reales.

Para el análisis detallado del movimiento, se ha utilizado la metodología propuesta por Feltner y col., (2004) para los saltos verticales con contramovimiento y adaptada para los saltos en horizontal. Así, se han definido tres fases:

- a)** Contramovimiento, que comprende desde el inicio del movimiento, considerado como el instante en que la fuerza vertical se reduce el 1% del peso corporal, hasta que la velocidad radial del CM alcanza su valor más próximo a cero (t_{0VR}).

Para un análisis detallado, la fase de contramovimiento se ha dividido en dos periodos temporales: a_1 : Periodo de contramovimiento inicial, que comprende desde el inicio del movimiento hasta el instante donde la velocidad radial del CM alcanza su máximo valor negativo (t_{NVR}) y a_2 : Periodo de contramovimiento final, que comprende desde t_{NVR} hasta t_{0VR} .

- b)** Propulsión, que comprende un periodo temporal entre t_{0VR} y el instante en que la velocidad radial del CM alcanza su máximo valor (t_{MVR}).

Esta fase propulsiva se ha dividido en tres periodos temporales iguales, b_1 : Periodo de propulsión inicial, comprendido entre t_{0VR} y t_1 , b_2 : Periodo de propulsión medio, comprendido entre t_1 y t_2 y b_3 : Periodo de propulsión final, comprendido entre t_2 y t_{MVR} . donde $t_1 = t_{0V} + 1/3(t_{MV} - t_{0V})$ y $t_2 = t_{0V} + 2/3(t_{MV} - t_{0V})$.

- c)** Fase previa al despegue, comprendida entre t_{MVR} y el instante de despegue (t_{DE}).

El tiempo de batida ($t_{(BATIDA)}$), se ha definido como el periodo temporal comprendido desde el inicio hasta el despegue. En la figura 1, se presentan las fases descritas, junto a las gráficas correspondientes a la velocidad radial, y las componentes rectangulares de la velocidad para los saltos verticales (**a**) y horizontales (**b**).

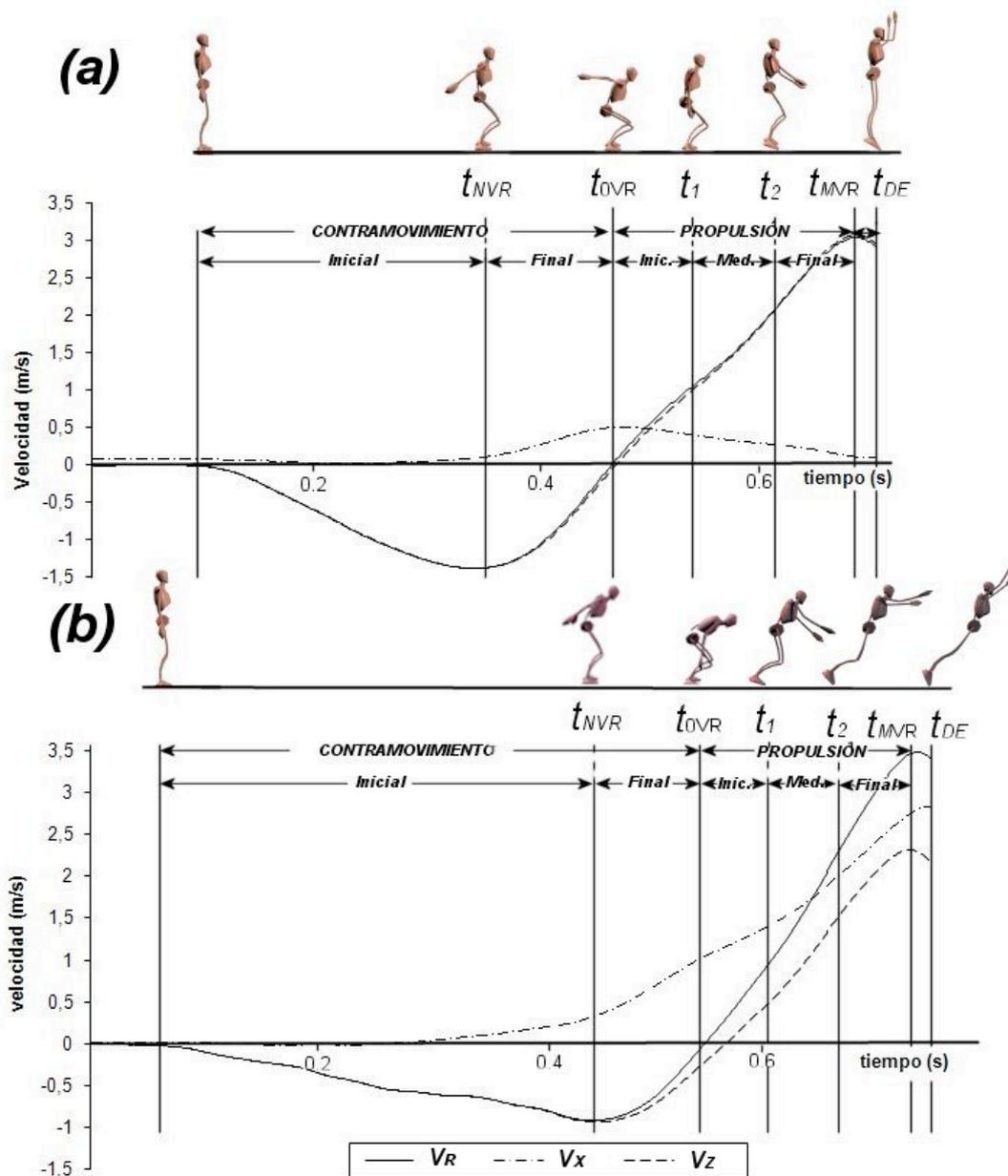


Figura 1.- Representación de las fases en las que se ha dividido el salto, junto a las gráficas correspondientes a la velocidad radial (V_R), y las componentes rectangulares de la velocidad (V_x y V_z , para la horizontal y vertical, respectivamente) para los saltos verticales (a) y horizontales (b).

Para determinar la contribución segmentaria, se ha utilizado el método de cálculo propuesto por Gutiérrez-Dávila, Garrido, Amaro, Ramos y Rojas (2012). Así, para determinar la contribución vertical de los miembros superiores (brazos, antebrazos y manos) se ha determinado previamente la posición vertical del centro de masa (CM) de los tres segmentos conjuntamente, para cada instante ($Z_{cm_{BRs}}$). A continuación, las sucesivas posiciones de $Z_{cm_{BRs}}$ se expresan con respecto a la posición vertical del marcador situado en el punto supraesternal del cuerpo (Z_{SUP}), siguiendo la expresión E-1.

$$Z_{cm_{BRs/SUP}} = (Z_{cm_{BRs}} - Z_{SUP}) \quad E-1$$

donde $Z_{cm_{BRs/SUP}}$ es la posición vertical del centro de masa (cm) de las extremidades superiores, con respecto al marcador situado en el supraesternal, $Z_{cm_{BRs}}$ es la coordenada vertical del cm de las extremidades superiores y Z_{SUP} es la posición vertical del marcador situado en el supraesternal, para cada instante.

El desplazamiento vertical de $Z_{cm_{BRs/SUP}}$, para cada intervalo de tiempo ($t=0.002$ s), se obtiene mediante la expresión E-2

$$\Delta Z_{cm_{BRs/SUP}} = (Z_{cm_{BRs/SUP}})_{n+1} - (Z_{cm_{BRs/SUP}})_n \quad E-2$$

donde $\Delta Z_{cm_{BRs/SUP}}$ es el desplazamiento vertical del cm de las extremidades superiores, con respecto al marcador situado en el supraesternal, para cada intervalo de tiempo.

La contribución de las extremidades superiores al desplazamiento vertical del CM del sistema, para cada intervalo de tiempo (C_{BRs}), se expresa mediante el producto de $\Delta Z_{cm_{BRs/SUP}}$ y el porcentaje de masa que tienen los seis segmentos que constituyen las dos extremidades, con respecto a la masa total del saltador (E-3). El hecho de dividir el resultado por la talla del sujeto, se hace para expresar el desplazamiento vertical con respecto a la talla del sujeto.

$$C_{BRs} = \frac{(\Delta Z_{cm_{BRs/SUP}}) \cdot \%m_{BRs}}{talla} \quad E-3$$

donde C_{BRs} es la contribución de las extremidades superiores al desplazamiento vertical del CG del sistema, para cada intervalo de tiempo; $\Delta Z_{cm_{BRs/SUP}}$ es el desplazamiento vertical del cm de las extremidades superiores con respecto al marcador del supraesternal y $\%m_{BRs}$ es el porcentaje de masa con respecto a la masa total del sistema, expresado en % de 1.

Para el resto de los segmentos se utilizaron las siguientes expresiones:

$$C_{TR+CA} = \left[\frac{(\Delta Z_{cm_{BRs+TR+CA/CAD}}) \cdot \%m_{BRs+TR+CA}}{talla} \right] - C_{BRs} \quad E-4$$

$$C_{MUs} = \left[\frac{(\Delta Z_{cm_{BRs+TR+CA+MUs/ROD}}) \cdot \%m_{BRs+TR+CA+MUs}}{talla} \right] - (C_{BRs} + C_{TR+CA}) \quad E-5$$

$$C_{PNs} = \left[\frac{(\Delta Z_{cm_{BRs+TR+CA+MUs+PNs/TOB}}) \cdot \%m_{BRs+TR+CA+MUs+PNs}}{talla} \right] - (C_{BRs} + C_{TR+CA} + C_{MUs}) \quad E-6$$

$$C_{PIs} = \left(\frac{\Delta Z_{CM}}{talla} \right) - (C_{BRs} + C_{TR+CA} + C_{MUs} + C_{PNs}) \quad E-7$$

donde C_{TR+CA} , C_{MUs} , C_{PNs} , C_{PIs} , corresponden a las contribuciones de tronco más cabeza, muslos, piernas y pies, respectivamente; $\Delta Z_{cm_{BRs+TR+CA/CAD}}$ es el desplazamiento vertical del

cm de las extremidades superiores y el tronco más la cabeza con respecto al marcador situado en la cadera; $\Delta Z_{cm_{BRs+TR+CA+MUs/ROD}}$ es el desplazamiento vertical del cm de las extremidades superiores, el tronco más la cabeza y los muslos, con respecto al marcador situado en la rodilla; $\Delta Z_{cm_{BRs+TR+CA+MUs+PNs/TOB}}$ es el desplazamiento vertical del cm de las extremidades superiores, el tronco más la cabeza, los muslos y las piernas, con respecto al marcador situado en el tobillo y ΔZ_{CM} es el desplazamiento del centro de masas del cuerpo.

Este mismo procedimiento se utilizó para determinar la contribución horizontal, utilizando para ello, la componente horizontal de las posiciones que definen cada uno de los segmentos. Finalmente, se registraron las respectivas contribuciones segmentarias para el instante en que se alcanza el valor más cercano a cero de la velocidad radial (t_{0DR}), el final del periodo inicial de aceleración (t_1); final del periodo medio de aceleración (t_2); instante en que se produce la máxima velocidad radial (t_{MVR}) y el instante de despegue (t_{0DE}).

Análisis estadístico

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 (multifactorial anova) considerando como factores de entrada las dos condiciones experimentales y el factor sujeto para determinar las posibles diferencias entre las medias de las variables para los dos tipos de salto (SV y SH).

Resultados

El tiempo medio de batida ($t_{(BATIDA)}$) ha sido superior para los saltos realizado en horizontal ($p < 0.001$; ver tabla 1). Este incremento temporal sólo se ha debido al tiempo utilizado durante el periodo inicial de la fase de contramovimiento ($t_{(CONTRAM.-INICIAL)}$), siendo significativamente mayor para SH ($p < 0.001$), mientras que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de saltos, para el periodo de contramovimiento final ($t_{(CONTRAM.-FINAL)}$), la fase propulsiva ($t_{(PROPULSIÓN)}$) y la fase previa al despegue ($t_{(PREV.-DESPEGUE)}$).

Tabla 1.- Estadística descriptiva e inferencial de los periodos temporales en los que se ha dividido el salto vertical con contramovimiento.

Fases	SV	SH	F
$t_{(BATIDA)}$ (s)	0.898 ± 0.104	1.056 ± 0.151	19.62***
$t_{(CONTRAM.-INICIAL)}$ (s)	0.427 ± 0.091	0.526 ± 0.012	32.07***
$t_{(CONTRAM.-FINAL)}$ (s)	0.178 ± 0.024	0.170 ± 0.031	1.94
$t_{(PROPULSIÓN)}$ (s)	0.291 ± 0.031	0.297 ± 0.034	0.64
$t_{(PREV.-DESPEGUE)}$ (s)	0.024 ± 0.005	0.022 ± 0.006	1.03

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

La velocidad radial del CM ($v_{(DR)CM}$), en el instante en que la velocidad radial alcanza su máximo valor negativo (t_{NVR}), alcanza valores medios negativos más altos cuando el salto se realiza en vertical (SV) ($p < 0.01$, ver tabla 2). Al final de la fase de propulsión (t_{0VR}), la velocidad radial ha sido significativamente mayor para SH ($p < 0.001$). Una tendencia que se mantiene hasta el despegue (t_{DE}). Como se esperaba, la componente horizontal de la velocidad del CM ($v_{(X)CM}$) al inicio de la fase propulsiva (t_{0VR}) y en el despegue (t_{DE}), han sido significativamente superiores en SH ($p < 0.001$, ver tabla 2). La componente vertical del CM ($v_{(Z)CM}$), alcanza valores negativos superiores en t_{0VR} , para los saltos realizados en horizontal ($p < 0.001$), lo que indica que, cuando se inicia la fase propulsiva, el CM aún se está

desplazando hacia abajo. Como era de esperar, en el despegue, $v_{(Z)CM}$ ha sido significativamente mayor para SV ($p < 0.001$). Finalmente, indicar como la distancia radial (DR_{CM}) en el despegue ha sido significativamente mayor para SH ($p < 0.001$, ver tabla 2).

En la tabla 3 se presenta la contribución vertical acumulada de los cinco segmentos en el inicio de la fase propulsiva (t_{0VR}); al final del periodo inicial y medio de la fase propulsiva (t_1 y t_2 , respectivamente); al final de la fase propulsiva (t_{MVR}) y en el despegue (t_{DE}), así como las diferencias entre las medias de los dos tipos de salto (SV y SH). Con respecto a la contribución vertical de los miembros superiores (brazos), los datos indican que su contribución positiva comienza durante el periodo medio de la fase propulsiva en los dos tipos de salto, siendo el incremento de la contribución en esta fase ligeramente superior para SV (0.017 ± 0.004 vs. 0.014 ± 0.004 m/m; $p < 0.05$). Una tendencia que se mantiene hasta el despegue.

Tabla 2.- Estadística descriptiva e inferencial, para la velocidad radial del CM ($v_{(DR)CM}$), la componente horizontal y vertical de la velocidad del CM ($v_{(X)CM}$; $v_{(Z)CM}$); la distancia radial (DR_{CM}) y la posición vertical del CM (Y_{CM}), en el instante en que la velocidad radial alcanza su máximo valor negativo (t_{NVR}), al comienzo y final de la fase propulsiva (t_{0VR} , t_{MVR} , respectivamente) y en el despegue (t_{DE}).

Variables	SV	SH	F
		t_{NVR}	
$v_{(DR)CM}$ (ms^{-1})	-1.166 ± 0.196	-0.992 ± 0.235	12.03**
		t_{0VR}	
$v_{(X)CM}$ (ms^{-1})	0.313 ± 0.071	0.924 ± 0.132	719.81***
$v_{(Z)CM}$ (ms^{-1})	-0.012 ± 0.016	-0.221 ± 0.061	286.91***
DR_{CM} (% talla)	38.88 ± 3.25	38.66 ± 0.16	0.16
Y_{CM} (% talla)	38.68 ± 3.25	37.72 ± 0.16	4.38*
		t_{MVR}	
$v_{(DR)CM}$ (ms^{-1})	2.857 ± 0.252	3.164 ± 0.255	145.34***
		t_{DE}	
$v_{(DR)CM}$ (ms^{-1})	2.728 ± 0.255	3.092 ± 0.285	187.87***
$v_{(X)CM}$ (ms^{-1})	0.077 ± 0.083	2.832 ± 0.233	2903.51***
$v_{(Z)CM}$ (ms^{-1})	2.729 ± 0.257	1.739 ± 0.266	564.41***
DR_{CM} (% talla)	66.16 ± 4.74	68.47 ± 4.71	10.58**
Y_{CM} (% talla)	65.88 ± 2.77	54.89 ± 3.01	201.45***

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

Tabla 3.- Estadística descriptiva e inferencial de la contribución vertical acumulada de los cinco segmentos, para al inicio de la fase propulsiva (t_{0VR}); al final del periodo inicial y medio de la fase propulsiva (t_1 y t_2 , respectivamente); final de la fase propulsiva (t_{MVR}) y en el despegue (t_{DE}).

Tiempo	SV	SH	F
<i>Contribución vertical miembros superiores</i>			
t_{0VR} (m/m)	-0.019 ± 0.008	-0.021 ± 0.008	0.76
t_1 (m/m)	-0.001 ± 0.004	-0.001 ± 0.004	0.04
t_2 (m/m)	0.016 ± 0.006	0.013 ± 0.005	6.69*
t_{MVR} (m/m)	0.033 ± 0.004	0.029 ± 0.004	49.91***
t_{DE} (m/m)	0.035 ± 0.004	0.032 ± 0.004	17.94***
<i>Contribución vertical tronco mas cabeza</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.006 ± 0.006	0.008 ± 0.006	2.69
t_1 (m/m)	0.032 ± 0.012	0.041 ± 0.011	13.39**
t_2 (m/m)	0.059 ± 0.018	0.076 ± 0.016	24.45***
t_{MVR} (m/m)	0.077 ± 0.021	0.113 ± 0.019	76.42***
t_{DE} (m/m)	0.079 ± 0.020	0.124 ± 0.019	135.49***
<i>Contribución vertical muslos</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.005 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.68
t_1 (m/m)	0.019 ± 0.009	0.017 ± 0.009	0.70
t_2 (m/m)	0.048 ± 0.014	0.037 ± 0.010	12.11**
t_{MVR} (m/m)	0.091 ± 0.021	0.034 ± 0.020	99.22***
t_{DE} (m/m)	0.089 ± 0.029	0.009 ± 0.012	188.12***
<i>Contribución vertical piernas</i>			
t_{0VR} (m/m)	-0.007 ± 0.006	-0.073 ± 0.021	254.36***
t_1 (m/m)	0.002 ± 0.008	-0.035 ± 0.014	156.05***
t_2 (m/m)	0.013 ± 0.008	-0.005 ± 0.004	126.83***
t_{MVR} (m/m)	0.056 ± 0.016	0.038 ± 0.016	22.76***
t_{DE} (m/m)	0.067 ± 0.014	0.068 ± 0.014	0.08
<i>Contribución vertical pies</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.004 ± 0.008	0.007 ± 0.009	4.40*
t_1 (m/m)	0.006 ± 0.009	0.024 ± 0.012	49.51***
t_2 (m/m)	0.010 ± 0.010	0.036 ± 0.012	82.73***
t_{MVR} (m/m)	0.032 ± 0.012	0.051 ± 0.014	31.24***
t_{DE} (m/m)	0.052 ± 0.012	0.077 ± 0.014	66.01***

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

La contribución vertical positiva del tronco más la cabeza comienza antes del inicio de la fase propulsiva para los dos tipos de salto. Este dato indica que, cuando se inicia la fase propulsiva, ya están desplazándose hacia arriba. Durante el periodo inicial de la fase de propulsión se incrementa la contribución del tronco más la cabeza en los dos tipos de salto (0.026 ± 0.009 vs 0.033 ± 0.008 m/m), siendo significativamente mayor para SH ($p < 0.01$). Esta tendencia se mantiene durante el periodo medio de propulsión para los dos tipos de salto. Durante el periodo final de propulsión, el tronco más la cabeza reducen su contribución en los SV, mientras que el incremento de la contribución se mantiene en SH (0.018 ± 0.019 vs. 0.037 ± 0.017 m/m), siendo su contribución positiva acumulada en el despegue muy significativamente superior para los saltos en horizontal ($p < 0.001$; ver tabla 3). Igual que el tronco, los muslos comienzan su contribución positiva antes de iniciarse la fase propulsiva, en los dos tipos de salto, incrementando su contribución de forma progresiva hasta el periodo medio de la propulsión, donde alcanzan incrementos de 0.029 ± 0.011 vs 0.020 ± 0.010 m/m, para SV y SH, respectivamente, siendo la contribución mayor para SV ($p < 0.001$). Durante el periodo final de la propulsión, los muslos alcanzan su mayor contribución vertical en los saltos SV, mientras que se reducen en SH (0.049 ± 0.018 vs. -0.003 ± 0.01 m/m, respectivamente). Durante la fase previa al despegue se reduce su contribución vertical para los dos tipos de saltos.

Los datos relativos a la contribución vertical de las piernas indican que aún se están desplazando hacia abajo cuando se inicia la fase propulsiva, siendo muy superior la contribución negativa para SH (-0.007 ± 0.006 vs. -0.073 ± 0.021 m/m, $p < 0.001$; ver tabla 3). A partir de este instante, las piernas comienzan su contribución positiva hasta el final en SV,

mientras que en los saltos SH, su desplazamiento hacia arriba retrasa hasta el periodo final de la propulsión. La contribución vertical de los pies es coherente con lo indicado para las piernas. Así, para SH, al desplazamiento hacia debajo de las piernas durante los periodo inicial y medio de la propulsión, le corresponde una cierta elevación de los pies (contribución positiva), un incremento de contribución que se mantiene hasta el despegue. Durante todos los periodos, la contribución vertical de los pies ha sido superior para SH ($p < 0.001$).

En la tabla 4 se presenta la contribución horizontal acumulada de los cinco segmentos. Con respecto a la contribución los miembros superiores, los datos indican que son escasas las diferencias entre las medias para los dos tipos de salto. Sin embargo, la contribución horizontal del tronco más la cabeza es significativamente mayor para los SH en todos los instantes registrados ($p < 0.001$), aunque analizando los datos a través de sus incrementos en las fases, se constata que estas diferencias se deben a la mayor contribución horizontal alcanzada por el tronco más la cabeza al inicio de la fase propulsiva (0.085 ± 0.013 vs. 0.092 ± 0.013 m/m), lo que indica que su mayor contribución horizontal se realiza durante la fase de contramovimiento en los dos tipos de salto, siendo mayor en SH. Los muslos mantienen comportamientos similares en los dos tipos de salto, aunque su contribución es mayor para SH ($p < 0.001$).

Tabla 4.- Estadística descriptiva e inferencial de la contribución horizontal acumulada de los cinco segmentos, al inicio de la fase propulsiva (t_{0VR}); al final del periodo inicial y medio de la fase propulsiva (t_1 y t_2 , respectivamente); final de la fase propulsiva (t_{MVR}) y en el despegue (t_{DE}).

Tiempo	SV	SH	F
<i>Contribución horizontal miembros superiores</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.000 \pm 0.001	0.000 \pm 0.002	0.21
t_1 (m/m)	0.014 \pm 0.007	0.016 \pm 0.007	2.08
t_2 (m/m)	0.034 \pm 0.004	0.036 \pm 0.003	6.06*
t_{MVR} (m/m)	0.031 \pm 0.003	0.032 \pm 0.003	1.27
t_{DE} (m/m)	0.029 \pm 0.003	0.030 \pm 0.004	5.27*
<i>Contribución horizontal tronco más cabeza</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.085 \pm 0.013	0.092 \pm 0.013	19.49***
t_1 (m/m)	0.064 \pm 0.015	0.094 \pm 0.012	70.67***
t_2 (m/m)	0.055 \pm 0.012	0.094 \pm 0.014	167.71***
t_{MVR} (m/m)	0.039 \pm 0.014	0.062 \pm 0.014	62.56***
t_{DE} (m/m)	0.031 \pm 0.012	0.055 \pm 0.013	89.36***
<i>Contribución horizontal muslos</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.001 \pm 0.004	0.003 \pm 0.005	3.05
t_1 (m/m)	0.003 \pm 0.007	0.021 \pm 0.011	62.80***
t_2 (m/m)	0.022 \pm 0.009	0.072 \pm 0.012	349.89***
t_{MVR} (m/m)	0.110 \pm 0.024	0.211 \pm 0.024	224.21***
t_{DE} (m/m)	0.141 \pm 0.017	0.231 \pm 0.021	600.12***
<i>Contribución horizontal piernas</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.088 \pm 0.024	0.116 \pm 0.023	24.61***
t_1 (m/m)	0.103 \pm 0.018	0.145 \pm 0.021	127.13***
t_2 (m/m)	0.091 \pm 0.017	0.162 \pm 0.021	365.09***
t_{MVR} (m/m)	0.011 \pm 0.021	0.154 \pm 0.017	496.95***
t_{DE} (m/m)	-0.018 \pm 0.016	0.149 \pm 0.016	1262.95***
<i>Contribución horizontal pies</i>			
t_{0VR} (m/m)	0.008 \pm 0.009	0.010 \pm 0.009	0.64
t_1 (m/m)	0.013 \pm 0.010	0.032 \pm 0.014	30.15***
t_2 (m/m)	0.015 \pm 0.009	0.050 \pm 0.016	103.92***
t_{MVR} (m/m)	0.027 \pm 0.011	0.102 \pm 0.023	214.44***
t_{DE} (m/m)	0.035 \pm 0.013	0.122 \pm 0.019	348.21***

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

Igual que lo indicado para la contribución vertical de las piernas, su contribución horizontal se inicia durante la fase de contramovimiento, siendo mayor al inicio de la fase propulsiva para SH ($p < 0.001$; ver tabla 4). Para SV, su contribución horizontal sigue incrementándose durante el periodo inicial de propulsión, a partir del cual, tiende a reducirse hasta el final. Sin embargo, en SH, la contribución horizontal positiva de las piernas se mantiene hasta el periodo medio de propulsión. Finalmente, como se esperaba, la contribución horizontal de los

pies es muy superior para SH en todos los periodos ($p < 0.001$).

Discusión

De los datos temporales expuestos en la tabla 1, sólo podemos constatar que existen diferencias estadísticamente significativas para la fase de contramovimiento inicial, utilizándose más tiempo cuando se realizan los saltos en horizontal, un aspecto que coincide con las aportaciones de Ball y Zanetti (2012) para saltos con caída previa. Este incremento temporal en los saltos horizontales, junto a la necesidad de desplazar el CM hacia delante, se refleja en valores registrados para la velocidad radial ($v_{(DR)CM}$) al final de esta fase (t_{NVR} ; ver tabla 2), siendo significativamente mayores para los saltos verticales. El hecho de llegar con una mayor velocidad radial negativa, al final del periodo de contramovimiento inicial, propiciará el incremento del impulso de frenado que se desarrolla durante el siguiente periodo ($t_{(CONTRAM-FINAL)}$). Considerando que no han existido diferencias entre las medias para el tiempo registrado durante $t_{(CONTRAM-FINAL)}$, podemos confirmar que la fuerza neta ejercida durante este periodo será mayor para SV. Finalmente, indicar que no han existido diferencias temporales entre las medias para la fase de propulsión y la previa al despegue, lo que sugiere que el patrón temporal de movimiento se mantiene para los dos tipos de salto.

En los saltos horizontales, la componente horizontal de la velocidad del CM ($v_{(X)CM}$) es mayor en el inicio de la fase propulsiva, mientras que la componente vertical ($v_{(Z)CM}$) mantiene valores negativos mayores, con respecto a SV, lo que contribuirá de forma negativa a los valores alcanzados por ($v_{(Z)CM}$) al final de la fase propulsiva. Considerando que, al inicio de la fase propulsiva, la velocidad radial debe alcanzar valores próximos a cero, el hecho de registrarse valores positivos relativamente altos en $v_{(X)CM}$ (0.924 ± 0.132) y negativos en $v_{(Z)CM}$ (-0.221 ± 0.061), antes de iniciar la fase propulsiva, indica que el CM estaría desplazándose hacia abajo por delante del apoyo en ese instante.

La velocidad radial alcanzada al final de la fase propulsiva ha sido mayor para SH, lo que confirma las aportaciones de Fukashiro y col. (2005) y Nagano, y col. (2007). Los datos también ponen de manifiesto que la velocidad radial se reduce durante la fase previa al despegue en los dos tipos de salto. Así, en SV, la velocidad media radial en el despegue ha sido un 4.5% inferior a la máxima velocidad alcanzada al final de la fase propulsiva, lo que coincide con los aportados por Feltner y col. (2004) y Gutiérrez-Dávila, Garrido, Gutiérrez-Cruz y Giles (2011). Sin embargo, en SH, el porcentaje de reducción de la velocidad radial ha sido inferior (2.2%). Una menor reducción que estaría justificada por la mayor contribución de la componente horizontal de la velocidad del CM.

Se constata la existencia de una estrategia de rotación-extensión, expuesta por Ridderikhoff y col. (1999) para los saltos realizados en horizontal y que la mayor parte de la rotación se produce durante la fase de contramovimiento, como sugieren Jones y Caldwell (2003) y Fukashiro y col. (2005). Efectivamente, la importante contribución del tronco más la cabeza y las piernas al desplazamiento horizontal del CM, acompañada de una contribución de los pies al desplazamiento vertical del CM, junto a la velocidad horizontal del CM, registrada antes de iniciar la fase propulsiva de SH, indican la existencia de una rotación del cuerpo en el sentido de giro de mortal hacia delante durante la fase de contramovimiento, a través de un eje que pasaría por ambos apoyos de antepie. Esta rotación provoca el desplazamiento hacia delante del CM antes de iniciarse la fase propulsiva. Desde la perspectiva biomecánica, este movimiento hacia delante del CM es una condición necesaria para poder producir fuerzas horizontales al sistema, similar al mecanismo que se produce en las salidas de velocidad (Gutiérrez-Dávila, 1998).

Según los datos expuestos sobre la contribución vertical del tronco y los muslos, la extensión de las articulaciones de la cadera y la rodilla, comenzarían antes de iniciarse la fase de propulsión y seguirían extendiéndose durante los periodos inicial y medio de la fase propulsiva. Este incremento de contribución segmentaria al desplazamiento vertical del CM produciría una fuerza compresiva hacia abajo mientras que las piernas mantienen una contribución vertical negativa. Un hecho que incrementaría la velocidad de estiramiento de los músculos extensores del tobillo y, consecuentemente, una mayor posibilidad de generar tensión durante su actividad concéntrica (Komi y Bosco, 1978). Este hecho ha sido descrito por Feltner y col. (2004) y Lees y col. (2004) como una acumulación de energía elástica que será reutilizada en periodos posteriores. La mayor contribución vertical del tronco, junto a la mayor contribución negativa de las piernas en los saltos SH, nos permite sugerir que este efecto sería mayor para los saltos realizados en horizontal. El hecho de constatar que la contribución vertical del tronco en SH, es mayor que en SV, durante las fases propulsiva y previa al despegue, pone de manifiesto que la actividad muscular sobre la articulación de cadera es mayor para los saltos realizados en horizontal, lo que confirma las aportaciones realizadas por Nagano y col. (2007).

En los dos tipos de salto, las extremidades superiores comienzan su contribución vertical positiva durante el periodo medio de la fase propulsiva y sigue incrementándose durante el periodo final de la fase propulsiva. Como se esperaba, su contribución es mayor en SV, mientras que no han existido diferencias, o éstas han sido escasas ($p < 0.05$), con respecto a la contribución horizontal. Por lo tanto, podemos confirmar que la contribución de los brazos es mayor cuando el salto se realiza en vertical.

Conclusiones

En los saltos verticales, el impulso de frenado que se desarrolla durante el periodo de contramovimiento final, ha sido mayor que para los saltos realizados en horizontal, lo que confirma que la fuerza neta ejercida durante este periodo también será mayor, al no existir diferencias significativas en el tiempo de este periodo para los dos tipos de saltos.

Se constata la existencia de una estrategia de rotación-extensión y que ésta se inicia durante la fase de contramovimiento. La rotación del CM hacia delante se produce a través de un eje que pasaría por ambos apoyos del antepie. Desde la perspectiva biomecánica, este movimiento hacia delante del CM es una condición necesaria para poder producir fuerzas horizontales al sistema.

La mayor contribución vertical del tronco en los saltos realizados en horizontal, cuando el tobillo aún se está flexionando durante los periodos inicial y medio de la propulsión, nos permite sugerir que podría existir una mayor preactivación de la musculatura extensora del tobillo para los saltos realizados en horizontal.

Durante las fases propulsiva y previa al despegue, la contribución vertical del tronco más la cabeza ha sido mayor en los saltos horizontales, lo que nos permite sugerir que la actividad muscular sobre la articulación extensora de cadera es mayor para los saltos realizados en horizontal. Finalmente, se ha constatado que la contribución de las extremidades superiores al desplazamiento vertical del CM es mayor cuando el salto se realiza en vertical.

Referencias

- Aguado, X.; Izquierdo, M., y Montesinos, J.L. (1997). Kinematic and kinetic factors related to the standing long jump performance. *Journal of Human Movement Studies*, 32, 156-169
- Aragón-Vargas, L. F. (2000). Evaluation of four vertical jump tests: Methodology, reliability, validity and accuracy. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 4, 215-228.
http://dx.doi.org/10.1207/S15327841MPEE0404_2
- Ashby B.M., & Heegaard, J.H. (2002) Role of arm motion in the standing long jump. *Journal of Biomechanics*, 35, 1631-1637.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(02\)00239-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00239-7)
- Ball, N.B., & Zanetti, S. (2012) Relationship between reactive strength variables in horizontal and vertical drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (5), 1407-1412.
<http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182510870>
- Domire, Z.J., & Challis, J.H. (2010): An induced energy analysis to determine the mechanism for performance enhancement as a result of arm swing during dumping. *Sports Biomechanics*, 9(1), 38-46.
<http://dx.doi.org/10.1080/14763141003692639>
- Eloranta, V. (2003) Influence of sports background on leg muscle coordination in vertical jumps. *Electromyography Clinical Neurophysiology*, 43, 141-156.
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1080/02701367.2004.10609155>
- Feltner, M.E.; Frascchetti, D.J., & Crisp, R.J. (1999). Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps. *Journal of Sports Sciences*, 17, 449-466.
<http://dx.doi.org/10.1080/026404199365768>
- Fukashiro, S.; Besier, T.F.; Barret, R.; Cochrane, J.; Nagano, A., & Lloid, D.G. (2005). Direction control in standing horizontal and vertical jumps. *International Journal of Sport and Health Science*, 3, 272-279.
<http://dx.doi.org/10.5432/ijshs.3.272>
- García-Lopez, J., y Herrero-Alonso, J. A. (2005). Variables cinemáticas de la batida relacionadas con el rendimiento del salto horizontal a pies juntos. *Biomecánica*, 12 (2), 61-70.
- Gutiérrez-Dávila, M.; Gutiérrez-Cruz, C.; Garrido, J.M., y Giles, J.F. (2012). Efecto de la restricción segmentaria en los test de salto vertical CMJ. *Archivos de Medicina del Deporte*, XXV, 147, 527-532.
- Gutiérrez-Dávila, M. (1998) *Biomecánica deportiva*. Síntesis, Madrid.
- Gutiérrez-Dávila, M.; Garrido, J.M.; Amaro, F.; Ramos, M. y Rojas, F.J. (2012). Método para determinar la contribución segmentaria en los saltos. su aplicación en el salto vertical con contramovimiento. Motricidad. *European Journal of Human Movement*, 29, 1-21
- Gutiérrez-Dávila, M.; Garrido, J.M.; Gutiérrez-Cruz, C., y Giles, J. (2011). Análisis de la contribución segmentaria en los saltos verticales con contramovimiento y su efecto debido a la restricción propuesta en el test de Bosco CMJ. Motricidad. *European Journal of Human Movement*, 27, 59-74.

- Gutiérrez, M., Soto, V.M. y Martínez, M. (1990) *Sistema de análisis computerizado para el movimiento humano*. Unisport. Junta de Andalucía.
- Harman, E.A.; Rosenstein, M.T.; Frykman, P.N., & Rosenstein, R.M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 825-833.
<http://dx.doi.org/10.1249/00005768-199012000-00015>
- Jones, S.L., & Caldwell, G.E. (2003). Mono- and biarticular muscle activity during jumping in different directions. *Journal of Applied Biomechanics*, 19, 205-222.
- Komi, P., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine 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.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.021>
- Leva de, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanovs segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230.
[http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290\(95\)00178-6](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290(95)00178-6)
- Luhtanen, P., & Komi, R.V. (1978). Segmental contribution to forces in vertical jump. *European Journal of Applied Physiology*, 38, 181-188.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00430076>
- Markovic, G.; Diznar, D.; Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551-555.
- Maulder, P., & Cronin, J. (2005). Horizontal and vertical jump assessment: reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in sport*. 6 (2), 74-82.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.01.001>
- Nagano, A.; Komura, T., & Fukashiro, S. (2007). Optimal coordination of maximal-effort horizontal and vertical jump motions a computer simulation study. *Biomedical Engineering OnLine*, 6(20), 1-9.
- Nagano, A., & Gerritsen, K.G.M. (2001). Effects of neuromuscular training on vertical jumping performance a computer simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 27-42.
- Ridderikhoff, A.; Batelaan, J.H., & Bobbert, M.F. (1999). Jumping for distance: control of the external force in squat jumps. *Medicine Science Sports Exercise*, 31, 1196-1204.
<http://dx.doi.org/10.1097/00005768-199908000-00018>
- Tidow, G. (1990) Aspects of strength training in athletics. *New Studies in Athletics*, 1, 93-110.
- Tomioka, M.; Owings, T.M., & Grabiner, M.D. (2001) Lower extremity strength and coordination are independent contributors to maximum vertical jump height. *Journal Applied Biomechanics*; 17, 181-187.
- 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 Strength Condition Research*, 19, 433-437.
- Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. (2^a ed.) New York: Wiley Interscience., pp. 36-41.

Gutiérrez-Dávila, M.; Garrido, J.M.; Amaro, F.J.; Rojas, F.J. (2014). Contribución segmentaria en los saltos con contramovimiento en vertical y en horizontal. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*, 38(10), 289-304. <http://dx.doi.org/10.5232/ricyde2014.03801>

Wood, G.A., & Jennings, L.S. (1979). On the use of spline functions for data smoothing. *Journal of Biomechanics*, 12, 477-479.
[http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290\(79\)90033-2](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290(79)90033-2)

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.