

Análisis cinemático de los saltadores de alto de Antioquia

Gustavo Ramón Suárez*

Resumen

El objetivo fundamental del presente estudio fue analizar los factores biomecánicos de los saltadores de alto de la Selección Antioqueña de Atletismo y correlacionarlos con la altura alcanzada, con el propósito de establecer factores críticos de entrenamiento. El diseño fue de carácter descriptivo, correlativo. La población y muestra la constituyeron los cuatro atletas (3 hombres, 1 mujer) que participaron por Antioquia en el Campeonato Nacional de Atletismo en 2006. Se estudiaron variables tales como: la distancia y velocidad del penúltimo y último paso; el ángulo del cuerpo en el momento del apoyo y del despegue; el ángulo del muslo en el momento del despegue; la altura del centro de gravedad tanto en el momento del despegue como en su máxima altura sobre el listón; la velocidad del centro de gravedad en el momento del despegue; el ángulo y la velocidad angular del tobillo y de la rodilla del miembro inferior que realiza el apoyo; la velocidad vertical de las muñecas y de la rodilla que realiza el péndulo. Se utilizaron cámaras digitales Sony®, 120X, los programas de análisis de movimiento Silicon Coach® y Kinematrix. Para el cálculo de parámetros estadísticos se utilizó SPSS v15. Los resultados mostraron que las variables que presentaron significancia estadística con la altura del salto fueron: el ángulo del cuerpo en el último paso

($r=-0,62$; $a=0,031$); el ángulo del cuerpo en el despegue ($r=-0,88$; $a<0,001$); ángulo del muslo en el momento del despegue ($r=-0,59$; $a<0,044$); velocidad vertical del centro de gravedad en el momento del despegue ($r=-0,871$; $a<0,001$); ángulo de proyección del centro de gravedad en el momento del despegue ($r=-0,771$; $a<0,003$); altura máxima de elevación del centro de gravedad (H2) ($r=-0,857$; $a<0,001$).

Palabras clave: Biomecánica Deportiva, salto alto, factores biomecánicos, altura, velocidad, proyección del centro de gravedad

Abstract

The purpose of this paper was to analyze biomechanical factors of the high jumpers who integrate the Athletic Antioquia Team and to correlate these factors with the height of the jump. The design of this research was descriptive and correlative. The population and sample were four athletes (3 men, 1 woman) of the Antioquia Team who participate in the Athletic National Championship 2006. The next variables were studied: length and speed of the next to last and last step; thigh angle in the take off; body angle in the take off; height center gravity in the take off and maximal height over the lath; center gravity velocity in the take off; angle and angular velocity of the ankle and knee in the take off;

* Profesor de la Universidad de Antioquia, Instituto Universitario de Educación Física. Doctor en Educación Física de la Universidad de Granada, España. Magister en Fisiología del Ejercicio de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador de Caracas. Licenciado en Educación Física de la Universidad de Pamplona. Médico Cirujano de la Universidad Industrial de Santander. gusramon2000@yahoo.es

vertical velocity of the wrist and free knee. Silicon Coach and Kinematrix programs were used. SPSS v15 was used in order to calculate statistical parameters. The results show the following positive correlations with the height of the jump: body angle in the last step: ($r=-0,62$; $a=0,031$); body angle in the take off ($r=-0,88$; $a=<0,001$); thigh angle in the take off ($r=-0,59$; $a=<0,044$); vertical velocity of the gravity center in the take off ($r=-0,871$; $a=<0,001$); center gravity angle in the take off ($r=-0,771$; $a=<0,003$); maximal height of the gravity center elevation (H2) ($r=-0,857$; $a=<0,001$).

Keywords: Sport Biomechanics, high jump, biomechanical factors, height, velocity, projection of the gravity center

Planteamiento del problema

El desarrollo de la Biomecánica Deportiva a nivel internacional está permitiendo a los atletas de alto rendimiento una mayor eficiencia en sus carreras y logros deportivos. Uno de los campos deportivos que requiere de investigaciones y apoyo de la Biomecánica Deportiva es el Atletismo. En nuestro medio tenemos atletas de nivel Suramericano y Panamericano, que por ausencia de equipos y de personal capacitado no han tenido la oportunidad de ser analizados con miras a optimizar su rendimiento.

El presente proyecto pretende estudiar los saltadores de altura de la Selección Antioqueña de Atletismo, tanto en la rama masculina como femenina, con el ánimo de investigar algunos factores biomecánicos del salto (altura del centro de gravedad de los saltadores en el momento del despegue, la velocidad vertical y el ángulo de proyección del centro de gravedad en el momento del despegue, máxima altura alcanzada por el centro de gravedad, entre otros) y relacionarlos con la altura del salto, para establecer los más relevantes.

Objetivo general

Analizar los factores mecánicos de carácter cinemático de los saltadores de altura pertenecientes a la selección mayores y juvenil de la Liga de Atletismo de Antioquia.

Objetivos específicos

- Analizar la distancia y la velocidad promedio del penúltimo y último paso.
- Calcular el centro de gravedad de los saltadores de altura mediante los parámetros de Zatsiorsky (1986).
- Determinar la altura del centro de gravedad en el momento del despegue.
- Calcular la velocidad resultante del centro de gravedad y sus componentes, así como el ángulo de proyección de los saltadores de altura.
- Determinar la altura máxima de elevación del centro de gravedad.
- Analizar el comportamiento cinemático del ángulo del cuerpo en la fase de despegue.
- Analizar el comportamiento cinemático de la articulación del tobillo y de la rodilla del miembro inferior de apoyo durante la fase de despegue.
- Analizar el comportamiento cinemático de los brazos y del miembro inferior que realiza la batida durante la fase de despegue.
- Correlacionar estos factores con la altura lograda en el salto para establecer las variables críticas de ejecución.

Marco bibliográfico

En la Olimpiada de 1968, en la competición de salto alto, Dick Fosbury introdujo una nueva modalidad, en la cual el salto se realizaba de espaldas a la varilla. Este estilo se denominó "*Fosbury flop* o Estilo Fosbury", el cual reemplazó al estilo de tijera (*scissor*), el rodillo (*roll*) y el de horcajadas (*Straddle*). Hoy en día todos los mejores saltadores de alto del mundo prefieren esta técnica (IAAF, 2004).

Según Steve (2000), el estilo Fosbury o estilo de espalda posee tres componentes básicos: la carrera de aproximación, el despegue y el paso de la varilla. En 1994, Hay propone un modelo biomecánico para su estructuración.

La carrera de aproximación

El principal factor de la carrera de aproximación es lograr al inicio una gran velocidad hori-

zonal, seguida de un trayecto curvo al final para crear una rotación que le permitirá al atleta saltar dando la espalda a la varilla.

Según la IAAF (2004), para los hombres estas velocidades oscilan entre 7 y 8 m/s y 6 – 7.5 m/s para las mujeres. La velocidad horizontal provee dos cosas: a) El cambio de la velocidad horizontal en una velocidad vertical resulta en una mayor altura del salto, y b) Mientras mayor sea la velocidad horizontal, mayor distancia puede tomar el atleta, permitiéndole un mejor ángulo de despegue.

Idealmente un saltador debe alcanzar su máxima velocidad al final de la carrera y para lograr este objetivo debe establecer con precisión el punto de partida de la misma.

Para la fase curvilínea de la carrera de aproximación, cada atleta usa un modelo de curva que está basado en sus habilidades, pues va a depender de la longitud del paso, de la estatura y de la velocidad, entre otros factores (Dapena, 1988; IAAF, 2004).

El despegue

Se puede considerar esta fase como los tres pasos previos al momento en el cual se produce la pérdida de contacto con el piso. Tres pasos antes del despegue, los brazos deben estar colocados al frente del cuerpo, completamente extendidos y con las manos en el plano medio a la altura del pecho.

El penúltimo es un paso preparatorio. Este debe ser ligeramente más largo que el último y el atleta debe descender ligeramente sus caderas. Por su parte los brazos se han desplazado hacia atrás, de manera que al final de este paso las manos estén por detrás de las caderas con los brazos extendidos y cercanos al cuerpo. En este paso, los atletas de élite alcanzan el punto más bajo del centro de gravedad.

El último paso o paso final debe ser un poco más corto y más rápido que el penúltimo. La longitud es muy variable entre los grandes saltadores pero su velocidad es muy semejante (IAAF, 2004).

Alargar este paso es descender el centro de gravedad y disminuir su velocidad. Los brazos deben estar completamente extendidos en sentido vertical, más si el atleta es muy rápido y hábil.

El miembro inferior que realiza la batida debe moverse rápidamente hacia arriba y debe “bloquearse” o detenerse bruscamente una vez el muslo esté paralelo a la superficie, pero hay que tener presente que debe realizarse cuando aún se esté en contacto con el piso. El movimiento de los brazos ha de ser de atrás hacia adelante y debe también bloquearse cuando estén sobre la horizontal.

La pérdida de velocidad horizontal generalmente es del 50%, permitiendo que el ángulo de despegue esté entre 45° y 55°. El tiempo del despegue oscila entre 120 y 160 milisegundos, aunque este tiempo no se ha correlacionado significativamente con la altura del salto (Povarnyzin ganó medalla de oro en Seúl con 195 ms mientras que Kostadinova fue medalla de plata con un tiempo de 115 ms). Pero es notable el hecho de que entre los atletas de élite, la fase de vuelo previa al apoyo es tan sólo 40-60 milisegundos más larga. También es de resaltar que la posición más baja del centro de gravedad no se alcanza en la fase de despegue sino en el penúltimo paso (IAAF, 2004).

Paso de la varilla

Esta fase depende de las dos previas, de manera que si tiene una buena carrera de aproximación y un buen despegue, el paso de la varilla será consecuente. En este caso, el atleta deberá limitarse a esperar cuando logra su altura máxima y “enrollar” el cuerpo sobre la varilla. Una vez la cabeza y los hombros han sobrepasado la varilla, el atleta debe arquear la espalda y lanzar sus caderas hacia el cielo. Las piernas deben mantenerse relajadas. Una vez las caderas sobrepasen la varilla, el atleta debe mantener su arco de espalda. Muchos atletas intentan realizar un gesto de patear para pasar las piernas sobre la varilla y simultáneamente colocar la barbilla sobre el pecho de manera que la cadera baje y las piernas suban (Dapena, 1988; IAAF, 2004).

Entre las influencias externas del salto alto se encuentran la superficie terrestre pero ésta no es tan importante como en los otros eventos de salto. El terreno es más importante en el despegue que en la carrera de aproximación, pero no existe mucha ventaja para todos los saltadores, dado que el tiempo de contacto es muy variable. La otra influencia externa es el clima, pues cuando el terreno está lluvioso genera riesgo de resbalar, sobre todo en el tramo curvo (Dapena, 1988; IAAF, 2004).

Modelo de Hay

Hay (1994) estructuró un modelo biomecánico que jerarquiza los factores relacionados con el salto alto (Figura 1). La altura lograda puede ser subdividida (a manera de fases) en tres: H1, H2, y H3; H1 es la altura del centro de gravedad del saltador en el momento del despegue; H2 es la altura que logra el centro de gravedad como consecuencia del impulso de la carrera previa y H3 es la diferencia de altura del listón y la del centro de gravedad en el momento del paso del listón.

La H1 a su vez depende de dos factores: los factores antropométricos o físicos del saltador y de la manera como éste coloca dichos segmentos en el momento del salto. En este caso, mientras más alto sea el sujeto, más posibilidades de obtener una H1 mayor, pero junto a esta característica hace falta que los segmentos estén ubicados lo más verticalmente posible para que la altura del centro de gravedad sea mayor.

La H2 es la proyección vertical del centro de gravedad luego del despegue. Debido a que después del despegue el cuerpo se comporta como un objeto en caída libre, la altura máxima (hmax) que logre dependerá de la velocidad vertical del centro de gravedad y del impulso vertical. Las mujeres normalmente logran una elevación promedio del centro de gravedad de 0.66 – 0.89 m mientras que los hombres alcanzan en promedio 0.98 – 1.17 m (IAAF, 2004). Las velocidades verticales promedio en hombres son de 4.4 – 4.8 m/s y las de mujeres, de 3.6 – 4.1 m/s (IAAF, 2004).

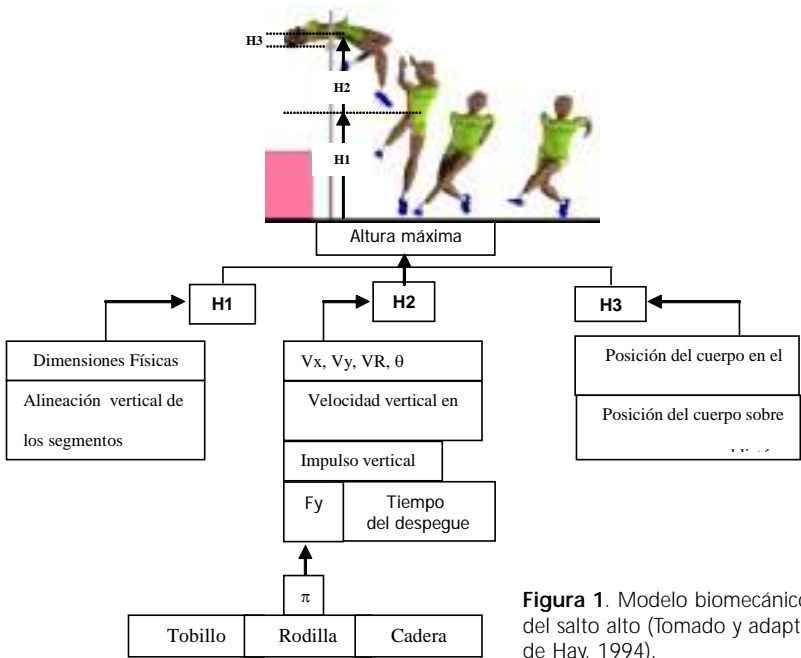


Figura 1. Modelo biomecánico del salto alto (Tomado y adaptado de Hay, 1994).

La velocidad vertical a su vez dependerá de la fuerza vertical del despegue y del tiempo de despegue. La fuerza vertical va a depender en gran parte de los torques generados en la articulación del tobillo, la rodilla y la cadera del saltador. El tiempo del despegue dependerá en gran medida de la fuerza elástico explosiva del saltador, es decir, de su tipo de fibra, y obviamente del entrenamiento previo.

La H3 está relacionada con la manera como el saltador coloque el cuerpo en su paso sobre la varilla. Ésta es una variable que dependerá fundamentalmente de la habilidad para mover el cuerpo en el espacio y de colocarlo de tal forma que la altura del centro de gravedad esté lo más cerca de la altura de la varilla. En este sentido se habla de una H3+ cuando el centro de gravedad pasa por encima del listón y H3-

cuando el centro pase por debajo del listón, que es lo que realmente pretende el salto tipo Fosbury. Los saltadores de élite han mostrado que esta diferencia oscila entre 3 y 4 cm; diferencias mayores ocasionan faltas técnicas que anulan el salto.

En la tabla 1 se presentan algunos datos pertenecientes a los saltadores que participaron en la Olimpiada de Barcelona. Se puede apreciar que entre ellos se encuentra el cubano Sotomayor, campeón mundial y olímpico, el cual saltó 2.34 m, con una H1 (que para este caso no es la altura del centro de gravedad en el momento del despegue sino de la batida) de 94 cm; un H2 de 2.43 (tomada en valores absolutos desde el piso) y una H3 (Hcla) de - 4 cm indicando que pasó el centro de gravedad por debajo de la varilla.

Barcelona 1992, Olympics. "VERTICAL SPATIAL ANALYSIS"											
H_{TD} : height of the CG in the touch-down.											
H_{TO} : height of the CG in the take-off.											
H_{BAR} : height of the bar.											
H_{peak} : maximum height of the CG.											
H_{CLG} : clearance height in the plane of the standards (altura superable en el plano del listón).											
H_{CLA} : absolute clearance height (altura superable absoluta en el pico máximo del CG).											
ΔH_{CLG} : effectiveness of the bar clearance in the plane of the standards.											
ΔH_{CLA} : absolute effectiveness of the bar clearance.											
Athlete	Height (m)	H _{BAR} (m)	Outcome	H _{TD} (m)	H _{TO} (%)	H _{TO} (m)	H _{peak} (m)	H _{CLG} (m)	H _{CLA} (m)	ΔH _{CLG} (m)	ΔH _{CLA} (m)
Bécquer	1.85	2.28	Clearance	0.90	48.5		2.30	2.28	2.28	-0.02	-0.02
Conway	1.84	2.34	Clearance	0.84	45.5		2.39	2.33	2.35	-0.06	-0.04
Dakov	1.95	2.24	Clearance	0.97	49.5		2.25	2.26	2.26	+0.01	+0.01
Drake	1.93	2.28	Clearance	0.90	46.5		2.30	2.26	2.26	-0.04	-0.04
Forsyth	1.97	2.34	Clearance	1.00	51.0		2.43	2.35	2.39	-0.08	-0.04
Kemp	1.84	2.31	Clearance	0.90	48.5		2.34	2.25	2.34	-0.09	0.00
Matei	1.84	2.24	Clearance	0.87	47.5		2.29	2.27	2.29	-0.02	0.00
Partyka	1.91	2.34	Clearance	0.97	50.5		2.36	2.36	2.36	0.00	0.00
Sjöberg	2.00	2.34	Clearance	1.02	51.0		2.29	2.35	2.35	+0.06	+0.06
Smith	1.85	2.31	Miss	0.95	51.5		2.29	2.32	2.33	+0.03	+0.04
Sonn	1.97	2.31	Clearance	0.99	50.5		2.36	2.29	2.34	-0.07	-0.02
Sotomayor	1.94	2.34	Clearance	0.94	48.5		2.43	2.36	2.39	-0.07	-0.04
Topic	1.97	2.28	Clearance	0.97	49.0		2.31	2.26	2.30	-0.05	-0.01

Tabla 1. Datos de algunos saltadores de altura que participaron en la Olimpiada de Barcelona, 1992.

Estudios realizados por Vanezis y col (2005) han demostrado que la capacidad de salto está más relacionada con la potencia, los momentos de fuerza y el trabajo realizado con los músculos de los miembros inferiores que la técnica de ejecución.

Estudiando atletas de mediano rendimiento, Deane y col. (2005) probaron que un entrenamiento de los músculos flexores de cadera incrementó de manera significativa la velocidad de carrera en 40 yardas, así como la altura en el salto vertical.

Kyrolainen y col (2005) estudiaron la influencia de un entrenamiento de fuerza explosiva de 15 semanas sobre la estructura muscular y la función neuromuscular en 33 sujetos, incluyendo un grupo control de 10. Los resultados mostraron que la contracción voluntaria máxima y la fuerza de los músculos plantiflexores no se modificó significativamente, pero la fuerza máxima de los extensores de la rodilla sí se modificó significativamente, como también la elevación del centro de gravedad en el salto desde una altura (*drop jump*). También mejoró significativamente el momento de fuerza y la potencia de los músculos extensores de la rodilla. No existieron cambios significativos en la actividad electromiográfica (EMG) de los extensores de la rodilla. Tampoco existieron cambios en el promedio de las cabezas de miosina y de las isoformas de Titina, en la distribución de los tipos de fibra ni en las áreas respectivas.

Estudiando los factores asociados en la elevación del centro de gravedad en el salto alto, Lees y col (2005) encontraron que la mayor contribución en los eventos máximos fue la fuerza de los músculos extensores de la cadera. Propusieron que el entrenamiento debiera ser diferenciado para los músculos de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera.

Metodología

Diseño

El presente proyecto de investigación fue de carácter descriptivo y correlativo. Se grabó el desempeño de saltadores de alto en condiciones rea-

les de competencia, se procesaron las imágenes obtenidas y se obtuvieron los datos que permitieron a los investigadores cuantificar y analizar los resultados, con el ánimo de establecer las características biomecánicas de sus saltos, para con base en ello determinar posibles errores y/o mejoramiento de sus marcas.

Población y muestra

Cuatro saltadores de alto de la Selección Antioquia de Atletismo (tres hombres, una mujer) que participaron en el Campeonato Nacional 2006.

Parámetros inerciales

Se emplearon los parámetros de Zatsiorsky (1988) adaptados por De Leva (1996).

Sistema de referencia

Se empleó un objeto de 3.00 m de longitud, previamente calibrado para las dimensiones horizontales y la altura del salto para las dimensiones verticales.

Filmación y captura de imágenes

Se utilizaron dos cámaras digitales, con posibilidad de conexión a un computador. Se capturaron los fotogramas correspondientes a las fases de aproximación, despegue y paso de la varilla, con intervalo de tiempo de 1/60 de segundo. Para tal efecto se utilizó el software Silicon Coach ® y Kinematrix.

Digitalización

En el cuadro 1 se presentan los puntos anatómicos digitalizados y la secuencia en la cual se tomaron sus respectivas coordenadas planares (X, Y) para el cálculo de las variables. (Ver página siguiente)

Selección, definición y cálculo de las variables

Para el cálculo de los ángulos, distancias o alturas se emplearon los principios de la fotogrametría (Allard y col., 1997), los cuales

Cuadro 1. Puntos anatómicos de referencia y su respectiva secuencia para la digitalización.

permitieron realizar cálculos matemáticos con un alto grado de precisión.

El fundamento básico para el cálculo matemático fue el plano cartesiano, donde cada punto tiene dos componentes: uno sobre el eje horizontal (Cx) y otro sobre el eje vertical (Cy). Estas coordenadas se establecieron al analizar una imagen empleando el programa Kinematrix, con el cual se determinaron las coordenadas X y Y de

cada uno de los puntos.

Centro de gravedad del cuerpo

Para el cálculo del centro de gravedad se tuvieron en cuenta los parámetros de De Leva (1996), los cuales se presentan en el cuadro 2. De acuerdo a los puntos digitalizados se determinaron 14 segmentos corporales, cuyas delimitaciones se presentan en el cuadro 3. (Página siguiente)

Punto N°	Denominación	Punto N°	Denominación	Localización del vector CG de los segmentos corporales, expresado como porcentaje de la distancia total, a partir del punto proximal	
1	Punta de pie derecho	12	Tobillo izquierdo		
2	Talón derecho	13	Rodilla izquierda		
3	Tobillo derecho	14	Cadera		
4	Rodilla derecha	15	Hombro izquierdo		
5	Cadera derecha	16	Codo izquierdo		
6	Hombro derecho	17	Muñeca izquierdo		
7	Codo derecho	18	Brazo distal 3 dedo mano izquierda		
8	Muñeca derecha	19	Sinifisis del pubis (promedio)		
9	Falange distal 3 dedo mano derecha	20	Supraesternal		
10	Punta de pie izquierdo	21	Vertex		
11	Talón izquierdo				
				<i>Hombres</i>	<i>Mujeres</i>
				59.76	58.94
				44.86	41.51
				57.72	57.54
				45.74	45.59
				79.00	74.74
				40.95	36.12
				44.59	44.16
				44.15	40.14

Cuadro 2. Peso localización del vector centro de gravedad, propuestos por De Leva (1996).

Puntos		N°	Segmento corporal	Puntos		N°	Segmento corporal
Prox	Dist			Prox	Dist		
2	1	1	Pie derecho	13	12	8	Pierna izquierda
4	3	2	Pierna derecha	14	13	9	Muslo izquierdo
5	4	3	Muslo derecho	15	16	10	Brazo izquierdo
6	7	4	Brazo derecho	16	17	11	Antebrazo izquierdo
7	8	5	Antebrazo derecho	17	18	12	Mano izquierda
8	9	6	Mano derecha	20	19	13	Tronco
11	10	7	Pie izquierdo	21	20	14	Cabeza y cuello

Prox = Proximal; Dist = Distal

Cuadro 3. Delimitación de los segmentos corporales.

El centro de gravedad de cada segmento se obtuvo mediante la siguiente matriz:

$$CS_x = Pp_x + \frac{\%CG * (Pd_x - Pp_x)}{100}$$

$$CS_y = Pp_y + \frac{\%CG * (Pd_y - Pp_y)}{100}$$

Donde,

CS_x = Coordenada del centro de gravedad del segmento en el eje X

CS_y = Coordenada del centro de gravedad del segmento en el eje Y

Pp_x = Coordenada del punto proximal del segmento en el eje X

Pp_y = Coordenada del punto proximal del segmento en el eje Y

Pd_x = Coordenada del punto distal del segmento en el eje X

Pd_y = Coordenada del punto distal del segmento en el eje Y

El cálculo de los momentos producidos por cada segmento corporal se obtuvo mediante la siguiente matriz.

$$MS_x = CS_x * PR ; MS_y = CS_y * PR$$

Donde,

MS_x = Momento del segmento en el eje X

MS_y = Momento del segmento en el eje Y

CS_x = Coordenada del centro de gravedad del segmento en el eje X

CS_y = Coordenada del centro de gravedad del segmento en el eje y

PR = Peso relativo del segmento

Las coordenadas del vector del centro de gravedad fueron la sumatoria de cada uno de los momentos de los diferentes segmentos corporales en los ejes X e Y; las ecuaciones generales fueron:

$$CCG_x = \frac{\sum_{i=1}^{14} PR_i \{ PPI_i + [\%CG_i (PDI_{ix} - PPI_{ix})] \}}{P}$$

$$CCG_y = \frac{\sum_{i=1}^{14} PR_i \{ PPI_i + [\%CG_i (PDI_{iy} - PPI_{iy})] \}}{P}$$

Altura y velocidad del centro de gravedad en el momento del despegue

La altura del centro de gravedad en el momento del despegue (H1) fue la diferencia de la coordenada en Y del centro de gravedad en el momento del despegue menos la coordenada en Y de la punta del pie de apoyo. La velocidad del centro de gravedad se calculó a partir de las coordenadas de los instantes previos al despegue (último contacto del pie con el suelo) y del intervalo de tiempo entre dichos instantes. A partir de estos datos se calculó la velocidad horizontal (V_x), la velocidad vertical (V_y), la velocidad resultante (VR) y el ángulo de proyección (θ).

Donde,

$$V_x = \frac{C_{x_d} - C_{x_{d-1}}}{t_d - t_{d-1}} ; V_y = \frac{C_{y_d} - C_{y_{d-1}}}{t_d - t_{d-1}} ;$$

$$VR = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} ; \theta = \arctan \left(\frac{V_y}{V_x} \right)$$

V_x = Velocidad en el eje X; V_y = Velocidad en el eje Y

VR = Velocidad resultante;

θ = Ángulo de proyección de la velocidad resultante

d = Momento del despegue; d-1 = Fotograma anterior al despegue
arc tan = función inversa de la tangente
 t_d = tiempo en el momento del despegue
 t_{d-1} = tiempo en el fotograma anterior al despegue

Altura máxima del centro de gravedad luego del despegue (H2)

La altura máxima del centro de gravedad luego del despegue (H2) fue la diferencia en la coordenada Y entre el punto máximo de la parábola y la coordenada en Y de la punta del pie de apoyo en el momento de la batida.

Diferencia entre la altura del centro de gravedad y la altura de la varilla (H3)

H3 fue la diferencia en la coordenada Y entre la altura máxima del centro de gravedad luego del despegue (H2) y la altura de la varilla.

Ángulo del tobillo del pie de apoyo durante la fase de batida

La fase de la batida es el tiempo que dura el apoyo del último paso. El tobillo estuvo conformado por los vectores de posición del pie y la pierna (puntos 1, 2, 3, y 4). Para el cálculo del ángulo se utilizó la ley del coseno.

Ángulo del cuerpo durante la fase de batida

El ángulo del cuerpo fue determinado por el vector cuya coordenada proximal fue la del punto supraesternal (20) y la distal, el tobillo del pie de apoyo (3 o 12). El otro vector fue la línea vertical. Los valores negativos indican que está antes de la vertical; los valores positivos indican que sobrepasa la vertical. Para el cálculo se usó F-3.

Ángulo del muslo del miembro inferior que realiza el movimiento de batida o "péndulo" durante la fase de batida

El ángulo del muslo fue la relación angular el eje mecánico del vector del muslo (puntos 3 y 4)

con relación a la horizontal, de manera que los valores menores de 0 son los que están por debajo de la horizontal, mientras que los valores positivos indican que el ángulo sobrepasa la horizontal. Para el cálculo se usó la ley del coseno.

Ángulo de la rodilla del miembro inferior de apoyo durante la fase de batida

La rodilla del miembro inferior de apoyo fue conformado por los vectores de posición del muslo y la pierna (puntos 3, 4 y 5). Para el cálculo se usó la ley del coseno.

Trayectoria y velocidad vertical de las manos y de la rodilla del miembro inferior que realiza la batida

Se graficaron las coordenadas de las manos (puntos 8 y 17) y los de la rodilla del miembro que realizó la batida (puntos 4 o 13) en los instantes correspondientes a la fase de la batida. Con las coordenadas en el eje Y de cada instante se calculó la velocidad vertical de cada uno de estos segmentos corporales.

Distancia y velocidad promedio del penúltimo y último paso

El penúltimo paso se tomó como la distancia entre los dos contactos previos al último contacto de pie que realiza la batida. En este caso, para un sujeto diestro que realiza la batida con el pie izquierdo, estuvo comprendido por la distancia entre el apoyo con el pie izquierdo y el pie derecho. Por otra parte, el último paso fue la distancia entre el apoyo del pie derecho y el pie izquierdo, que fue el pie que realizó el apoyo final o previo al salto.

Para el cálculo de la distancia tanto del penúltimo como del último paso se tuvo como referencia las coordenadas del punto correspondiente a la punta del pie izquierdo y la coordenada del pie derecho. La diferencia entre las coordenadas del pie derecho menos las coordenadas del pie izquierdo y dicha diferencia multiplicada por la escala, permitió obtener la distancia. De la misma manera, la distancia del último paso fue la diferencia entre las coordenadas de

la punta del pie izquierdo menos las coordenadas de la punta del pie derecho, multiplicada por la escala.

Para el cálculo de la velocidad media de dichos pasos, se tuvo en cuenta la relación entre la distancia de cada paso y el tiempo transcurrido entre los apoyos respectivos. Este tiempo se obtuvo de establecer la diferencia en fotogramas de los eventos estudiados, multiplicados por el intervalo entre foto y foto.

Equipos

Se emplearon dos cámaras digitales Sony (120X); el software “Silicon Coach®”, el cual permite obtener 60 imágenes por segundo y calcular variables cinemáticas lineales y angulares; un computador portátil con 1 giga de memoria RAM, procesador de video; el programa “Kinematrix” para cálculo del centro de gravedad.

Manejo de los datos y cálculos estadísticos

Los datos obtenidos por el programa Kinematrix fueron llevados a hojas de cálculo del programa Excel y al SPSS V 14. El programa Excel permitió suavizar los datos mediante *splines* de quinto orden. Excel y SPSS se usaron para calcular los estadísticos de tendencia central (media) y de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación); el producto momento de Pearson para hallar el índice de correlación; y ecuación de regresión lineal múltiple.

Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos al analizar cuatro saltadores de altura que participaron en el Campeonato Nacional llevado a cabo en la ciudad de Bucaramanga (2006). Inicialmente se presentarán los resultados de cada sujeto por separado para luego hacer un análisis conjunto.

Sujeto 1

Intento	1	2	3	4	5					
Altura de la varilla (m)	2,05	2,11	2,14	2,14	2,20	Media	DS	CV	r	r corr
Altura del centro de gravedad (HT)(m)	2,06	2,21	2,17	2,15	2,21					
Penúltimo paso										
Distancia	1,86	1,96	1,99	1,98	1,85	1,93	0,07	4	0,24	0,23
Tiempo	0,284	0,2	0,267	0,2	0,167	0,22	0,05	22	-0,77	-0,93
Velocidad (m/s)	4,29	5,34	4,975	5,66	5,84	5,22	0,62	12	0,81	0,85
Último paso										
Distancia	1,52	1,71	1,61	1,71	1,92	1,69	0,15	9	0,79	0,86
Tiempo	0,484	0,417	0,467	0,417	0,367	0,43	0,05	11	-0,77	-0,90
velocidad (m/s)	7,60	7,88	8,05	7,88	9,60	8,20	0,80	10	0,61	0,63
Angulo cuerpo	-28	-31	-28	-26	-30	-29	1,95	7	-0,58	-0,61
Relación distancia penúltimo - último paso	82	87	81	86	104	88	9	11	0,60	0,71
Relación Velocidad penúltimo-último paso	177	148	162	139	164	158	15	9	-0,49	-0,51
Despegue										
Tiempo	0,217	0,200	0,18	0,167	0,183	0,190	0,02	10	-0,48	-0,48
Angulo cuerpo	2	1	5	1	1	2	1,73	87	-0,14	-0,91
Angulo muslo	27	28	14	19	27	23	6,20	27	0,02	0,15
H1	1,36	1,37	1,24	1,32	1,44	1,34	0,07	5	0,23	0,52
Velocidad vertical	3,71	4,06	4,27	4,02	3,89	3,99	0,21	5	0,55	0,74
Velocidad horizontal	5,44	3,41	6,36	6,73	7,57	5,90	1,59	27	0,02	0,00
Velocidad Resultante	6,58	5,31	7,66	7,83	8,51	7,18	1,25	17	0,11	0,10
Angulo	47	50	48	53	59	51	5	10	0,59	0,69
Paso varilla										
H2	0,70	0,84	0,93	0,82	0,77	0,81	0,09	11	0,53	0,74
H3	0,01	0,10	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	123	0,49	0,50
Altura total del centro de gravedad (HT)	2,06	2,21	2,17	2,15	2,21	2,16	0,06	3	0,79	0,79

Cuadro 4. Resumen de las variables estudiadas en la sujeto 1. El intento 3 (señalado en gris) fue falta. El coeficiente de correlación (r) es la relación entre la altura del salto (HT) y las variables estudiadas. El coeficiente de correlación corregido (r corr) fue la misma relación anterior pero sólo con los intentos que fueron válidos. (DS=desviación estándar; CV = coeficiente de variación).

Intento	1	2	3	4	5					
Altura de la varilla (m)	2,05	2,11	2,14	2,14	2,20	Media	DS	CV	r	r corr
Altura del centro de gravedad (HT)(m)	2,06	2,21	2,17	2,15	2,21					
Angulo tobillo (°)	140	141	148	110	136	135	15	11	0,08	0,05
Velocidad angular tobillo (rad/s)	24,9	22,0	29,0	10,3	16,8	20,6	7,3	35,3	-0,2	-0,3
Angulo rodilla (°)	174	180	179	177	178	178	2	1	0,89	0,92
Velocidad angular rodilla (rad/s)	15,7	14,0	9,4	19,9	22,8	16,4	5,2	31,7	0,14	0,3
Velocidad vertical Muñeca derecha (m/s)	5,02	9,45	7,03	6,20	4,94	6,5	1,9	28,3	0,47	0,47
Velocidad vertical Muñeca izquierda (m/s)	2,85	0,70	1,35	5,51	5,67	3,2	2,3	71,7	-0,01	0,04
Velocidad vertical Rodilla derecha (m/s)	5,02	5,12	7,70	2,03	2,08	4,4	2,4	54,4	-0,15	-0,34

Cuadro 5. En la parte superior, las variables relacionadas con el miembro inferior que realiza la batida. En la parte inferior, las variables relacionadas con los miembros superiores y el miembro inferior que realiza el " péndulo ". (r= coeficiente de correlación entre altura de todos los salto y las variables; r corr = coeficiente de correlación entre altura del salto de los saltos válidos y las variables).

Sujeto 2

Intento	1	2	3	4	5	6					
Altura del listón (m)	1,93	2,08	2,08	2,11	2,11	2,11	Media	D.S.	C.V.	r	r corr
Altura del centro de gravedad, HT (m).	2,05	2,17	2,09	2,11	2,13	2,15					
Penúltimo paso											
Distancia (m)	1,51	1,63	1,88	1,70	1,70	1,57	1,67	0,13	8	0,01	1,00
Tiempo (s)	0,200	0,200	0,200	0,234	0,234	0,200	0,21	0,02	8	0,07	0,00
Velocidad (m/s)	7,55	8,15	9,40	7,26	7,26	7,85	7,91	0,81	10	-0,05	1,00
Último paso											
Distancia (m)	1,46	1,59	1,55	1,59	1,63	1,63	1,58	0,06	4	0,85	1,00
Tiempo (s)	0,234	0,217	0,217	0,216	0,200	0,234	0,22	0,01	6	-0,31	-1,00
Velocidad (m/s)	6,24	7,33	7,14	7,36	8,15	6,97	7,20	0,62	9	0,60	1,00
Angulo cuerpo (°)	-30	-28	-30	-28	-30	-31	-30	1,22	-4	0,20	0,00
Relación distancia penúltimo - último paso (%)	97	98	82	94	96	104	95	7	7	0,43	-1,00
Relación velocidad penúltimo - último paso (%)	83	90	76	101	112	89	92	13	14	0,38	-1,00
Despeque											
Tiempo (s)	0,383	0,367	0,367	0,401	0,417	0,383	0,39	0,02	5	0,00	-1,00
Angulo cuerpo (°)	4	4	3	7	5	5	5	1	29	0,17	-1,00
Angulo del muslo (°)	14	4	2	0	12	14	8	6	83	-0,09	-1,00
H1 (m)	1,30	1,40	1,29	1,33	1,337	1,33	1,33	0,04	3	0,81	-1,00
Velocidad vertical (m/s)	3,83	3,88	3,97	3,90	3,95	4,01	3,92	0,06	2	0,44	1,00
Velocidad horizontal (m/s)	3,10	2,95	2,42	4,04	2,36	3,41	3,05	0,63	21	-0,01	-1,00
Velocidad resultante (m/s)	4,93	4,87	4,65	5,61	4,60	5,26	4,99	0,38	8	0,04	-1,00
Angulo (°)	51	53	59	44	59	50	53	6	11	0,04	1,00
Paso de la varilla											
H2 (m)	0,75	0,77	0,81	0,78	0,80	0,82	0,79	0,03	3	0,44	1,00
H3 (m)	0,12	0,09	0,01	0,00	0,02	0,04	0,05	0,05	101	-0,21	-1,00
HT (m)	2,05	2,17	2,09	2,11	2,13	2,15	2,12	0,04	2	0,75	0,03

Cuadro 6. Resumen de las variables estudiadas en la sujeto 2. Los intentos 2, 4, 5 y 6 (señalados en gris) fueron falta. El coeficiente de correlación (r) es la relación entre la altura del salto (HT) y las variables estudiadas. El coeficiente de correlación corregido (r corr) fue la misma relación anterior pero sólo con los intentos que fueron válidos. (DS=desviación estándar; CV = coeficiente de variación).

Intento	1	2	3	4	5	6					
Altura del listón (m)	1,93	2,08	2,08	2,11	2,11	2,11	Media	D.S.	C.V.	r	r corr
Altura del centro de gravedad, H3 (m).	2,05	2,17	2,09	2,11	2,13	2,15					
Angulo de tobillo (°)	128	132	159	123	127	140	134,85	13,11	10	-0,07	1,00
Velocidad angular (rad/s)	18,5	25,4	21,8	12,9	12,1	17,5	18,04	5,09	28	0,16	1,00
Angulo de rodilla (°)	173	177	175	173	176	175	174,89	1,57	1	0,74	1,00
Velocidad angular (rad/s)	9,4	11,7	4,5	10,9	11,0	8,9	9,41	2,62	28	0,42	-1,00
Velocidad vertical rodilla derecha (m/s)	4,91	6,27	3,10	5,12	5,74	5,72	5,14	1,11	22	0,65	-1,00
Velocidad vertical muñeca derecha (m/s)	7,03	4,88	5,77	7,33	5,35	5,72	6,01	0,96	16	-0,74	-1,00
Velocidad vertical muñeca izquierda (m/s)	8,53	9,77	6,67	9,48	6,08	6,52	7,84	1,62	21	-0,01	-1,00

Cuadro 7. En la parte superior, las variables relacionadas con el miembro inferior que realiza la batida. En la parte inferior, las variables relacionadas con los miembros superiores y el miembro inferior que realiza el " péndulo ". (r= coeficiente de correlación entre altura de todos los saltos y las variables; r corr = coeficiente de correlación entre altura del salto de los saltos válidos y las variables).

Sujeto 3

Intento	1	2	3	4	5					
Altura del listón (m)	2,08	2,11	2,14	2,17	2,17	Media	D.S.	C.V.	r	r corr
Altura del centro de gravedad, HT (m).	2,11	2,15	2,20	2,18	2,11					
Penúltimo paso										
Distancia (m)	2,14	2,08	2,06	1,94	1,96	2,04	0,08	4	-0,24	-0,95
Tiempo (s)	0,384	0,417	0,334	0,317	0,417	0,37	0,05	12	-0,75	-0,63
Velocidad (m/s)	5,57	4,99	6,17	6,12	4,70	5,51	0,66	12	0,73	0,54
Último paso										
Distancia (m)	1,57	1,66	1,73	1,74	1,78	1,70	0,08	5	0,39	0,99
Tiempo (s)	0,183	0,200	0,217	0,217	0,217	0,21	0,02	7	0,59	1,00
Velocidad (m/s)	8,58	8,30	7,97	8,02	8,20	8,21	0,24	3	-0,84	-1,00
Angulo cuerpo (°)	-28	-29	-29	-25	-27	-28	1,67	-6	0,00	-0,84
Relación distancia penúltimo - último paso (%)	73	80	84	90	91	84	7,22	9	0,31	0,99
Relación velocidad penúltimo - último paso (%)	154	166	129	131	175	151	20,44	14	-0,80	-0,68
Despegue										
Tiempo (s)	0,601	0,634	0,551	0,534	0,517	0,57	0,05	9	-0,17	-0,63
Angulo cuerpo (°)	3	3	4	5	5	4	1,00	25	0,21	0,89
Angulo del muslo (°)	4	4	5	5	4	4	0,55	12	0,89	0,89
H1 (m)	1,28	1,25	1,26	1,25	1,26	1,26	0,01	1	-0,64	-0,64
Velocidad vertical (m/s)	4,04	4,20	4,29	4,26	4,09	4,17	0,11	3	0,98	0,98
Velocidad horizontal (m/s)	4,05	3,68	3,68	4,18	3,68	3,85	0,24	6	-0,03	-0,85
Velocidad resultante (m/s)	5,72	5,58	5,65	5,97	5,50	5,68	0,18	3	0,41	-0,48
Angulo (°)	45	49	49	46	48	47,31	2,00	4	0,40	0,91
Paso de la varilla										
H2 (m)	0,83	0,90	0,94	0,92	0,85	0,89	0,05	5	0,99	0,98
H3 (m)	0,03	0,04	0,06	0,01	-0,06	0,02	0,04	272	0,56	1,00
HT (m)	2,11	2,15	2,20	2,18	2,11	2,15	0,04	2	1,00	1,00

Cuadro 8. Resumen de las variables estudiadas en el sujeto 3. Los intentos 4 y 5 (señalados en gris) fueron falta. El coeficiente de correlación (r) es la relación entre la altura del salto (HT) y las variables estudiadas. El coeficiente de correlación corregido (r corr) fue la misma relación anterior pero sólo con los intentos que fueron válidos. (DS=desviación estándar; CV = coeficiente de variación).

Intento	1	2	3	4	5					
Altura del listón (m)	2,08	2,11	2,14	2,17	2,17	Media	D.S.	C.V.	r	r corr
Altura del centro de gravedad, HT (m).	2,11	2,15	2,20	2,18	2,11					
Angulo del tobillo (°)	134	129	122	125	140	130,02	7,19	6	-0,95	-1,00
Velocidad angular (rad/s)	23,51	14,82	7,54	15,26	25,57	17,34	7,29	42	-0,95	-1,00
Angulo de la rodilla (°)	167	165	176	163	176	169,36	6,03	4	0,01	0,81
Velocidad angular (°)	12,01	12,07	16,25	18,71	15,09	14,83	2,86	19	0,64	0,89
Velocidad vertical rodilla derecha (m/s)	4,11	3,21	5,41	3,35	2,76	3,77	1,04	28	0,55	0,62
Velocidad vertical muñeca derecha (m/s)	3,60	4,82	9,71	10,07	6,78	6,99	2,88	41	0,81	0,96
Velocidad vertical muñeca izquierda (m/s)	8,27	9,64	9,33	11,79	8,88	9,58	1,34	14	0,62	0,71

Cuadro 9. En la parte superior, las variables relacionadas con el miembro inferior que realiza la batida. En la parte inferior, las variables relacionadas con los miembros superiores y el miembro inferior que realiza el " péndulo ". (r= coeficiente de correlación entre altura de todos los salto y las variables; r corr = coeficiente de correlación entre altura del salto de los saltos válidos y las variables).

Sujeto 4

Intento	1	2	3	4	5	6					
Altura del listón (metros)	1,76	1,82	1,82	1,86	1,86	1,90	Media	DS	C.V	r	r corregido
Altura del centro de gravedad (HT) (m)	1,91	1,89	1,88	1,87	1,91	1,98					
Penúltimo paso											
Distancia (m)	1,87	2,00	2,15	2,08	1,96	2,12	2,03	0,11	5	0,05	-0,96
Tiempo (s)	0,250	0,267	0,284	0,167	0,234	0,284	0,25	0,04	18	0,50	-0,94
Velocidad (m/s)	4,68	5,00	5,16	6,56	4,90	5,08	5,23	0,67	13	-0,43	-0,90
Ultimo paso											
Distancia (m)	1,82	1,69	1,52	1,94	1,77	1,67	1,74	0,14	8	-0,18	0,99
Tiempo (s)	0,234	0,2	0,183	0,233	0,216	0,2	0,21	0,02	10	-0,14	0,95
Velocidad (m/s)	7,78	8,45	8,31	8,33	8,19	8,35	8,23	0,24	3	-0,03	-0,69
Angulo cuerpo (°)	-21	-27	-25	-22	-29	-23	-25	3,08	-13	0,11	0,03
Relación distancia penúltimo paso - ultimo paso (%)	97	85	71	93	90	79	85,81	9,88	12	-0,15	0,97
Relación velocidad penúltimo paso - ultimo paso (%)	166	169	161	127	167	164	159,14	16,03	10	0,45	0,99
Despegue											
Tiempo (s)	0,150	0,167	0,150	0,151	0,167	0,150	0,16	0,01	6	-0,13	0,47
Angulo cuerpo (°)	7	8	8	8	7	5	7	1,17	16	-0,98	-0,9995
Angulo muslo (°)	-4	2	2	2	0	2	1	2,42	363	-0,05	-0,78
H1 (m)	1,22	1,25	1,26	1,28	1,27	1,30	1,27	0,03	2	0,40	-0,40
Velocidad vertical (m/s)	3,67	3,55	3,46	3,39	3,53	3,65	3,54	0,11	3	0,77	0,775
Velocidad horizontal (m/s)	4,59	4,39	4,31	4,14	4,76	4,59	4,46	0,22	5	0,62	0,92
Velocidad Resultante (m/s)	5,88	5,65	5,53	5,35	5,93	5,87	5,70	0,23	4	0,70	0,99
Angulo (°)	37	36	37	35	42	37	37,35	2,45	7	0,24	0,50
Paso varilla											
H2 (m)	0,69	0,64	0,61	0,59	0,64	0,68	0,64	0,04	6	0,77	0,770
H3 (m)	0,15	0,07	0,06	0,01	0,05	0,08	0,07	0,05	69	0,42	0,67
HT (m)	1,91	1,89	1,88	1,87	1,91	1,98	1,91	0,04	2	0,45	-0,14

Cuadro 10. Resumen de las variables estudiadas en la sujeto 4. Los intentos 2, 4 y 6 (señalados en gris) fueron falta. El coeficiente de correlación (r) es la relación entre la altura del salto (HT) y las variables estudiadas. El coeficiente de correlación corregido (r corr) fue la misma relación anterior pero sólo con los intentos que fueron válidos. (DS=desviación estándar; CV = coeficiente de variación).

Intento	1	2	3	4	5	6	Media	DS	C.V	r	r corregido
Altura del listón (metros)	1,76	1,82	1,82	1,86	1,86	1,90					
Altura del centro de gravedad (HT) (m)	1,91	1,89	1,88	1,87	1,91	1,98					
Ángulo tobillo (°)	131	124	124	131	131	137	130	4,85	4	0,74	1,00
Velocidad angular tobillo (rad/s)	45,2	19,8	19,8	16,8	16,8	14,3	22,10	11,49	52	-0,09	0,44
Ángulo rodilla (°)	178	167	167	168	168	175	170	4,99	3	0,63	0,61
Velocidad angular rodilla (rad/s)	13,9	12,3	12,3	13,5	13,5	16,2	13,62	1,42	10	0,88	0,99
Velocidad vertical Muñeca derecha (m/s)	10,58	7,50	6,35	4,05	9,56	9,00	7,84	2,39	30	0,61	0,98
Velocidad vertical Muñeca izquierda (m/s)	6,52	5,66	4,72	1,61	3,99	6,52	4,84	1,87	39	0,65	0,27
Velocidad vertical Rodilla derecha (m/s)	6,52	2,38	5,00	3,27	3,27	2,40	3,81	1,63	43	-0,28	-0,01

Cuadro 11. En la parte superior, las variables relacionadas con el miembro inferior que realiza la batida. En la parte inferior, las variables relacionadas con los miembros superiores y el miembro inferior que realiza el "péndulo". (r = coeficiente de correlación entre altura de todos los salto y las variables; r corr = coeficiente de correlación entre altura del salto de los saltos válidos y las variables).

Análisis de factores comunes en todos los atletas

En el cuadro 12 se presentan los valores medios de las variables estudiadas, únicamente de

los atletas masculinos. No se realizó para el género femenino, dado que apenas se estudió una sola atleta, cuyos valores se encuentran ya analizados.

	Estadística descriptiva general				
	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tip.	C.V
Penúltimo paso					
Distancia (m)	1,51	2,14	1,92	0,19	10
Velocidad (m/s)	4,29	9,40	6,09	1,53	25
Ultimo paso					
Distancia (m)	1,46	1,92	1,65	0,14	8
Velocidad (m/s)	6,24	9,60	7,91	0,9	12
Ángulo cuerpo (°)	-31	-26	-29	2	-5
Relación distancia penúltimo paso - ultimo paso (%)	73	104	86	9	11
Relación velocidad penúltimo paso - ultimo paso (%)	76	177	137	36	26
Despeque					
Ángulo cuerpo (°)	1	4	2	1,2	51
Ángulo muslo (°)	2	28	14	11,1	77
H1 (m)	1,25	1,44	1,32	0,06	5
Velocidad vertical (m/s)	3,71	4,29	4,00	0,18	4
Velocidad horizontal (m/s)	2,42	7,57	4,45	1,74	39
Velocidad Resultante (m/s)	4,65	8,51	6,08	1,31	22
Ángulo (°)	45	59	51	5	9
Paso varilla					
H2 (m)	0,70	0,94	0,82	0,07	9
H3 (m)	0,01	0,12	0,04	0,04	97
HT (m)	2,05	2,21	2,14	0,06	3
Ángulo tobillo (°)	110	159	133	13,6	10
Velocidad angular tobillo (rad/s)	7,5	24,9	17,8	6,0	34
Ángulo rodilla (°)	165	180	174	4,8	3
Velocidad angular rodilla (rad/s)	4,5	22,8	14,1	5,5	39
Velocidad vertical Muñeca derecha (m/s)	3,1	9,4	5,1	1,9	37
Velocidad vertical Muñeca izquierda (m/s)	0,7	9,7	5,1	2,6	51
Velocidad vertical Rodilla derecha (m/s)	2,0	9,6	6,3	2,9	46

Cuadro 12. Estadística descriptiva de las variables estudiadas para los atletas masculinos.

Del cuadro 12 se puede apreciar que en general los atletas se ajustan a lo encontrado en la literatura internacional con respecto a esta modalidad deportiva. El último paso tiende a ser más corto pero de mayor velocidad; la altura del centro de gravedad en el momento del despegue tiende a ser similar; la velocidad vertical de despegue no se encuentra dentro de los rangos a nivel internacional; el ángulo de proyección del cuerpo está en el rango internacional.

Algunas variables no reportadas en la literatura internacional son el ángulo del cuerpo al inicio y al final del despegue, las cuales variaron desde -29° a 2° en el momento del despegue y mostraron una moderada heterogeneidad, sobre todo al final del mismo. De la misma manera las variables relacionadas con el miembro inferior de apoyo, tales como el ángulo del tobillo y su velocidad angular fueron muy heterogéneas, principalmente en la velocidad angular. Algo parecido ocurrió con el ángulo y la velocidad angular de la rodilla. Llamó la atención en estas variables que el máximo esfuerzo no ocurrió al final de la fase, sino en la mitad o hacia los momentos finales. Es posible que los atletas no lleguen a tener la conciencia del incremento y man-

tenimiento de la velocidad hasta el momento final del despegue o que la velocidad de la cámara no sea la adecuada o que la digitalización de los puntos no hubiese sido la más conveniente.

En el análisis de los miembros superiores, variables no reportadas en la literatura, se encontró una gran heterogeneidad, además de que su acción se incrementó en la primera mitad de la fase de despegue. Esta acción de los miembros superiores puede favorecer el hecho de disminuir la acción de la gravedad pues mientras el centro de gravedad está descendiendo (en la primera mitad de la fase de despegue), los brazos van ascendiendo, generando una aceleración en contra de la gravedad, hecho que disminuye la acción de la pierna que está apoyada realizando una contracción excéntrica.

Es claro que en todos los atletas los factores relacionados con la altura del salto fueron diferentes. Para hallar factores comunes se tomaron todos los saltos válidos (12) de los cuatro atletas estudiados y se correlacionaron con la altura del salto. De las 27 variables estudiadas, tan sólo 7 se encontraron con una correlación significativa (cuadro 18).

Variables		Valor
Angulo del cuerpo en el último paso	r	-0,6201
	α	0,031
Angulo del cuerpo en el despegue	r	-0,888
	α	< 0,001
Angulo del muslo en el despegue	r	0,59
	α	0,044
Velocidad vertical del centro de gravedad en el momento del despegue	r	0,871
	α	< 0,001
Angulo de proyección del centro de gravedad en el momento del despegue	r	0,776
	α	0,003
Altura máxima de elevación del centro de gravedad (H2)	r	0,857
	α	< 0,001
Altura del listón	r	0,952
	α	< 0,001

Cuadro 13. Variables con relación significativa ($<0,05$) con la altura del salto, luego de reunir todos los saltos válidos de los cuatro atletas estudiados. (r = correlación; α = nivel de significancia)

El ángulo del cuerpo en el último paso, que coincide con el inicio del despegue, mostró una correlación negativa, de modo que a medida que el atleta intenta sobrepasar una altura mayor, coloca su pie de apoyo más adelantado y su tronco más atrasado, formando un ángulo que varía desde -21° hasta -31° . Esta misma variable pero en el momento del despegue, también mostró una correlación inversa más significativa que la anterior; varió desde 8° hasta 1° . Estas acciones requieren de tres cosas:

1. Un buen control del descenso del centro de gravedad en el penúltimo paso, de manera que el atleta pueda controlar e invertir la velocidad de desplazamiento,
2. Una buena fuerza excéntrica en la rodilla que realiza el despegue para poder mantener el ángulo del cuerpo,
3. Una buena propiocepción del momento del despegue para no permanecer en contacto con el piso, pues esto altera la proyección del cuerpo.

El ángulo del muslo con respecto a la horizontal mostró una correlación positiva, de manera que mientras más se levante el muslo, más altura se logra en el salto. Este ángulo varió desde -4° hasta 28° . Esta variable no solamente influye en la altura del salto sino que estuvo muy correlacionada ($r=0,906; a=.0001$) con la altura del centro de gravedad en el momento del despegue, pero la velocidad vertical de la rodilla en el momento del despegue mostró una correlación significativa.

La velocidad vertical del centro de gravedad en el momento del despegue mostró una buena correlación con la altura del salto, variando desde $3,46$ m/s hasta $4,29$ m/s. Estos datos corroboran la hipótesis planteada en el modelo de Hay para esta modalidad deportiva. De la misma manera, el ángulo de proyección del centro de gravedad mostró una buena correlación con la altura del salto, variando desde 36° hasta 59° .

La altura máxima de proyección es otra de las variables que se correlacionó con la altura del

salto, variando desde $0,64$ m hasta $0,96$ m. Estos datos corroboran también el modelo de Hay.

Finalmente, estos atletas incrementan la altura del salto a medida que la dificultad del salto con el incremento de la altura del listón se incrementa.

Conclusiones

1. Los atletas masculinos tienen distancia media para el penúltimo paso de $1,92$ m, con una velocidad media de $6,09$ m/s; en el último paso su distancia media fue de $1,65$ m con una velocidad media de $7,91$ m/s; la relación porcentual entre la distancia del penúltimo paso con el último fue de 86% mientras que la velocidad fue de 137% . En el caso femenino, distancia media para el penúltimo paso de $1,99$ m, con una velocidad media de $4,91$ m/s; en el último paso su distancia media fue de $1,70$ m con una velocidad media de $8,09$ m/s; la relación porcentual entre la distancia del penúltimo paso con el último fue de 86% mientras que la velocidad fue de 164% .
2. La altura media del centro de gravedad en el momento del despegue (H1) fue, para el caso masculino, de $1,32$ m y para el femenino, $1,25$ m.
3. La velocidad media resultante del centro de gravedad en el momento del despegue, para el caso masculino, fue de $6,08$ m/s ($V_x = 4,45$ m/s; $V_y = 4,00$ m/s) y el ángulo medio de proyección, 51° ; para el femenino, la velocidad media resultante del centro de gravedad en el momento del despegue, fue de $5,78$ m/s ($V_x = 4,45$ m/s; $V_y = 3,55$ m/s) y el ángulo medio de proyección, 38° .
4. La altura media máxima de elevación del centro de gravedad luego del despegue, en los atletas masculinos fue de $0,81$ m y en femenino, $0,64$ m.
5. En ángulo medio del cuerpo en los atletas masculinos fue de -29° al inicio de la fase de despegue y de 2° , en el momento del despegue. La atleta inicia con un ángulo medio de -25 y termina en 7° .
6. El ángulo medio del tobillo en el momento del despegue, del miembro inferior que apoya e impulsa, para el caso masculino, fue de

- 133° con una velocidad angular de 17,8 rad/s; para el caso femenino, 128° y 27 rad/s, respectivamente. El ángulo medio de la rodilla fue de 173° y 14 rad/s, en el caso masculino; de 170° y 13 rad/s en el caso femenino, respectivamente.
7. La acción de los miembros que no realizan el contacto como fue el caso de la velocidad vertical de las muñecas, en el momento del despegue fue 5,10 m/s mientras que la de la rodilla que realiza el “péndulo” fue de 6,29 m/s, esto en el caso masculino. Para el caso femenino, la muñeca derecha se movió a 8,83m/s y la izquierda, 5,07m/s; la rodilla del “péndulo” 4,93 m/s.
 8. Las variables que presentaron significancia estadística con la altura del salto fueron: el ángulo del cuerpo en el último paso ($r=-0,62$; $a=0,031$); el ángulo del cuerpo en el despegue ($r=-0,88$; $a<0,001$); ángulo del muslo en el momento del despegue ($r=-0,59$; $a<0,044$); velocidad vertical del centro de gravedad en el momento del despegue ($r=-0,871$; $a<0,001$); ángulo de proyección del centro de gravedad en el momento del despegue ($r=-0,771$; $a<0,003$); altura máxima de elevación del centro de gravedad (H2) ($r=-0,857$; $a<0,001$).

Referencias

- Allard, P., Blanchi, J.O., & Alissaqui, R. (1997). *Three dimensional analysis of human movement*. Ed.: Paul Allard, Jean P. Blanchi.
- Bowman, W. J. & Freeman, W.H. (1991). *High-Performance Training for Track And Field. Human Kinetics*.
- Dapena, J. (1988). Biomechanical Analysis of the Fosbury Flop. *Track Technique*, 104, 3307- 3317.
- Deane, R. S., Chow J. W., Tillman, M.D. & Fournier, KA. (2005) Effects of hip flexor training on sprint, shuttle run, and vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. Aug; 19(3):615-21.
- De Leva. (1996). Adjustements to Zatsiorsky-Seulyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 29 (9), 1223-1230
- Hay, J. G. (1994). *The biomechanics of sports techniques*. N.J.: Prentice Hall Inc, Englewood Clifs.
- Humphrey, S. & Nordquist, D. (2000). High Jump. In *USA Track & Field Coaching Manual* (Joseph Rogers, Editor). Human Kinetics.
- International Association of Athletics Federations, IAAF (2004). *High Jump: Development of performances and performance influencing factors*.
- Jacoby, E. & Fraley, B. (1995). *The Complete Book of Jumps*. Human Kinetics.
- Kyrolainen, H., Avela, J., McBraide, J.M., Koskinen, S., Andersen, J. L., Sipila, S., Takala, T. E., Komi, P. V. (2005). Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scand J Med Sci Sports*. Feb; 15(1):58-64.
- Lees, A., Vanrenterghem, J., De Clercq, D. J. (2004). The maximal and submaximal vertical jump: implications for strength and conditioning. *Strength Cond Res*. Nov;18(4):787-9
- Steve, P. (2000). High Jump: Technical Aspects. *Track Coach* 155.
- Vanezis, A., Lees, A. (2005) A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. En *Ergonomics*. Sep 15-Nov 15; 48(11-14):1594-603.