

## COMPARACIÓN DE CUATRO MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DEL SALTO VERTICAL

*Luis Fernando Aragón Vargas*

### Introducción

El salto vertical es un aspecto sumamente importante y atractivo de varios deportes, como el baloncesto y el voleibol. En las ciencias del ejercicio es muy común encontrar estudios sobre diferentes métodos de entrenamiento para el mejoramiento del salto vertical. Un elemento esencial en cualquiera de estos estudios es la medición del salto vertical de cada persona. Las pruebas de salto vertical son además muy frecuentes en la Educación Física y los deportes, pues se utilizan como base para estimar la "potencia" del tren inferior y para evaluar el progreso de los estudiantes y los atletas en este aspecto de la aptitud motriz. Sin embargo, existen diferencias entre los resultados de las diferentes pruebas de salto vertical, aún en el caso de aplicar distintos análisis a un mismo salto (Hatze 1995).

Tradicionalmente, el método más utilizado ha sido el método de Sargent (1924), también conocido como "saltar y tocar" (por ejemplo, Blattner & Noble 1979; Clutch et al. 1983; Davies, Greenwood & Jones 1988; Genuario & Dolgener 1980). Este método es fácil de aplicar, pues solamente requiere de una pared o tablero y polvo de tiza para los dedos. Johnson & Nelson (1974) reportan una confiabilidad de 0,93 y una objetividad también de 0,93 para la prueba. Sin embargo, para poder analizar saltos verticales sin impulso de brazos o en situaciones naturales, y en un intento por obtener una mayor precisión y dar mayor credibilidad a los resultados, se recurre a menudo a métodos que utilizan video, alfombras de sincronización y plataformas de

fuerza. El método más preciso, el estándar denominado en este estudio Altura del Salto Vertical (ASV), es aquél que permite calcular la posición exacta del centro de masa del cuerpo (CMC) a lo largo de la ejecución de la destreza, utilizando técnicas de cine o video. Restando la posición del CMC cuando el sujeto está de pie a la altura máxima durante el vuelo, se obtiene la altura del salto (Aragón Vargas 1994; Bobbert, Huijing & van Ingen Schenau 1987; Pandy & Zajac 1991). Algunas alternativas consisten en obtener la velocidad de despegue del cuerpo usando una plataforma de fuerza, y derivar la altura del salto aplicando fórmulas básicas de movimiento de partículas (Dowling & Vamos 1993), o en utilizar fórmulas semejantes para obtener la altura del salto a partir de la medida del tiempo que el cuerpo estuvo en el aire (Asmussen & Bonde-Petersen 1974; Bosco & Komi 1979; Bosco, Luhtanen, & Komi 1983; Komi & Bosco 1978). En vista de que el equipo necesario es a menudo costoso y difícil de manejar, y que en algunos de los cálculos es necesario hacer suposiciones que no siempre son válidas, es importante conocer las diferencias entre los resultados obtenidos con cada uno de los métodos para el cálculo de la altura del salto vertical.

El propósito de este estudio fue, por lo tanto, responder a dos preguntas relacionadas con la medición de la altura del salto vertical: ¿Existen acaso diferencias importantes entre los resultados obtenidos según la metodología utilizada? ¿Cuál de los métodos alternos permite obtener una mejor predicción de la altura real del salto, según la medida de ASV? La respuesta a estas preguntas es importante para el preparador físico, entrenador

deportivo y educador físico, pues les permitirá evaluar cuánta precisión y calidad obtiene al utilizar equipos y métodos de diferente complejidad y costo. Además, les permitirá efectuar comparaciones entre estudios que utilizaron metodologías distintas con mayor propiedad.

## Metodología

### Recolección de datos

Se escogió una muestra, en forma casual o fortuita, de 52 estudiantes universitarios de una población de estudiantes varones físicamente activos que frecuentaban las canchas de baloncesto de la universidad, o que cursaban la carrera de Educación Física en la Universidad de Michigan. La muestra obtenida mostró un amplio rango de niveles de destreza y entrenamiento para el salto vertical (Aragón-Vargas 1994). Se había estimado una muestra mínima de 47 unidades para obtener un error en la predicción del promedio de salto menor a dos centímetros con probabilidad de 0,95, usando una estimación de la desviación estándar de la población igual a 7 centímetros (basada en experiencia previa). Se reclutó a más sujetos previendo alguna mortalidad, la cual finalmente no ocurrió.

Los sujetos ejecutaron cinco saltos verticales máximos cada uno, a partir de una posición libre pero con las manos en las caderas. Los sujetos vistieron solamente traje de baño o pantaloneta, y tuvieron marcas reflectoras en el hombro, la cadera, la rodilla, el tobillo, y al lado de la bola del pie. El mejor salto de cada sujeto, según se calculó de acuerdo a la fórmula (10), fue utilizado en los análisis.

Se utilizó una plataforma de fuerza Bertec, con un muestreo de 300 Hz, para registrar las fuerzas y torques ejercidos contra el piso durante cada salto. Los datos cinemáticos de los saltos fueron registrados y procesados en tercera dimensión mediante un sistema de video para el análisis del movimiento (Motion Analysis Corp.) con un muestreo de 60 Hz.

Finalmente, se utilizaron antropómetros, cintas métricas y la plataforma de fuerza para obtener las medidas antropométricas básicas

necesarias para los cálculos involucrados, a saber: peso y talla corporal, longitud del muslo y la pierna, circunferencia de la porción medial del muslo y de la pantorrilla, ancho y altura de los maléolos, y longitud del pie.

### Procesamiento de datos

El modelo biomecánico utilizado y todos los procedimientos analíticos involucrados se han descrito en detalle previamente (Aragón Vargas 1994). El cuerpo humano se representó como un sistema de cuerpos rígidos compuesto por cuatro segmentos, unidos entre sí por articulaciones de tipo bisagra libres de fricción, en dos dimensiones (Figura 1).

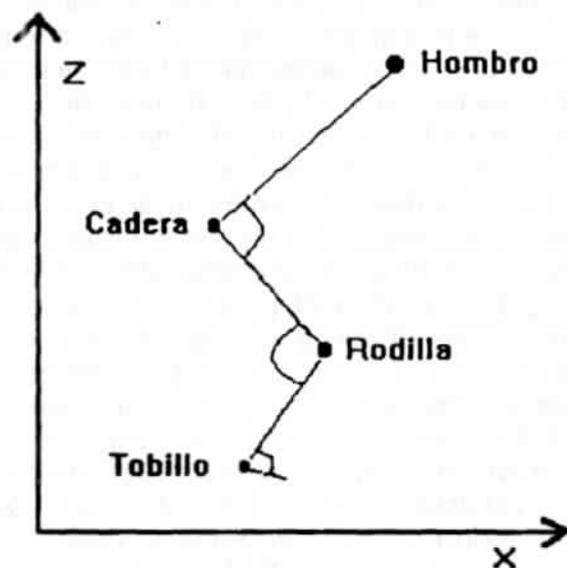


Fig. 1. Modelo biomecánico. Los segmentos ( $i = 1$  a 4) están definidos por las marcas reflectoras: segmento HAT, cabeza, brazos y tronco, del hombro a la cadera; segmento THI, muslos, de la cadera a la rodilla; segmento SHA, piernas, de la rodilla al tobillo, y segmento FET, pies, del tobillo a la bola del pie.

El método más preciso (y complicado) para calcular la altura del salto vertical requiere del cálculo preciso del centro de masa del cuerpo (CMC) en cada instante del movimiento. El primer paso para este cálculo fue determinar la ubicación del centro de masa de cada segmento en las coordenadas verti-

cal (zCMS) y horizontal (xCMS). Esta determinación se hizo conforme a lo indicado por Vaughan et al. (1992), a excepción del seg-

mento HAT, para el cual fue necesario hacer cálculos especiales. A continuación se presentan las fórmulas generales:

$$xCMS_s = x_{art. proximal_s} + (proporcion_s)(x_{art. distal_s} - x_{art. proximal_s}) \quad (1)$$

$$zCMS_s = z_{art. proximal_s} + (proporcion_s)(z_{art. distal_s} - z_{art. proximal_s}) \quad (2)$$

donde

s se refiere a cada uno de los cuatro segmentos, HAT, THI, SHA, FET.

proporción HAT	=	0,33
proporción THI	=	0,39
proporción SHA	=	0,42
proporción FET	=	0,44
$x_{art.}$	=	coordenada X de la articulación en ese instante.
$z_{art.}$	=	coordenada Z de la articulación en ese instante.

El cálculo de la posición del centro de masa de la cabeza, los brazos y el tronco como un solo segmento (HAT) se realizó utilizando los resultados de Clauser et al. (1969) con los ajustes que les hizo Hinrichs (1990), asumiendo que cuando el sujeto está de pie con los brazos en jarras su brazo y antebrazo forman un ángulo de 90 grados (Figura 2).

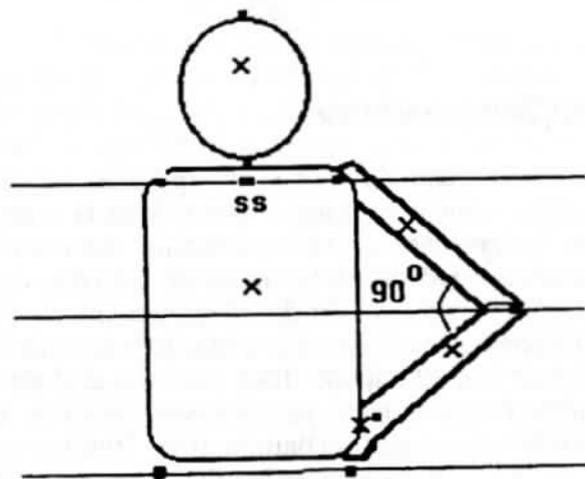


Fig. 2. Modelo de segmentos utilizado para el cálculo del centro de masa de HAT. ss = supraesternal.

Cuadro 1

Características del centro de masa de los segmentos que componen el HAT

Segmento	CMS (proporción) <sup>a</sup>	Masa (% de la masa total)	Longitud promedio (cm)
Cabeza	0,47 <sup>b</sup>	07,3 <sup>b</sup>	31,67 <sup>b</sup>
Tronco	0,4383 <sup>c</sup>	50,7 <sup>b</sup>	50,24 <sup>c</sup>
Brazo	0,4910 <sup>c</sup>	02,6 <sup>b</sup>	29,45 <sup>c</sup> sin45 <sup>od</sup>
Antebrazo	0,4176 <sup>c</sup>	01,6 <sup>b</sup>	27,13 <sup>c</sup> sin45 <sup>od</sup>

(a) Proporción de la distancia desde el extremo proximal hasta el extremo distal de cada segmento.

(b) Clauser et al. (1969).

(c) Ajustes de Hinrichs (1990) a los resultados de Clauser et al., 1969.

(d) La multiplicación por el seno de 45° se hace para ajustar la posición de los brazos.

El centro de masa de HAT se calculó utilizando las masas relativas de los segmentos y la posición vertical de cada segmento con respecto al punto de referencia (ss en la figura 2). La ubicación del CMS<sub>HAT</sub> se obtuvo mediante la fórmula:

$$z_{CMS_{HAT}} = \frac{\sum_{i=1}^4 (x \text{ longitud}_i)(proporcion \text{ CMS}_i) (\% \text{ masa}_i)}{\% \text{ masa}_{HAT}} \quad (3)$$

donde  $i = 1-4$  se refiere a los cuatro segmentos que conforman el HAT. Esto da una proporción de 0.330 de la longitud del tronco para el centro de masa del HAT, con respecto al punto supraesternal. Este resultado es congruente con la proporción utilizada por Winter (1990, p. 57).

El segundo paso para calcular la altura del salto fue calcular el centro de masa de todo el cuerpo (CMC), utilizando la posición de los centros de masa de todos los segmentos y sus masas respectivas, mediante la técnica conocida como sumatoria de torques:

$$x_{CMC} = \sum_{S=1}^4 (x_{CMS_S}) (masa_S) (masa_{total})^{-1} \quad (4)$$

$$z_{CMC} = \sum_{S=1}^4 (z_{CMS_S}) (masa_S) (masa_{total})^{-1} \quad (5)$$

donde  $masa_S$  es la masa del segmento (s). La masa de cada segmento del tren inferior fue calculada conforme a las fórmulas de Vaughan et al. (1992):

$$masa_{THI} = 2 [12.76 (\text{longitud muslo})^2 + (\text{circunferencia del muslo medio})^2 + 0.1032 (masa_{total}) - 1.023] \quad (6)$$

$$masa_{SHA} = 2 [31.33 (\text{longitud pierna})^2 + (\text{circunferencia de pantorrilla})^2 + 0.0226 (masa_{total}) + 0.016] \quad (7)$$

$$masa_{FET} = 2 [254.5 (\text{ancho de maléolos}) (\text{altura del maléolo}) (\text{longitud del pie}) + 0.0083 (masa_{total}) - 0.065] \quad (8)$$

La masa de la cabeza, brazos y tronco (HAT) se calculó por medio de la resta:

$$masa_{HAT} = masa_{total} - (masa_{THI} + masa_{SHA} + masa_{FET}) \quad (9)$$

Finalmente, la altura de salto vertical (ASV) se obtuvo directamente de los datos de posición del centro de masa de todo el cuerpo (CMC), restándole la posición vertical del CMC cuando el sujeto estaba de pie, a la posición más alta alcanzada por el CMC durante el vuelo, según la fórmula:

$$ASV = z_{CMC_{cima}} - z_{CMC_{parado}} \quad (10)$$

ASV se utilizó en este estudio como el criterio, el punto de referencia con respecto al cual se hicieron las comparaciones. Dos métodos alternativos para calcular la altura del salto utilizan la velocidad vertical de despegue (VELDES). Ésta se obtuvo de la curva de la velocidad vertical instantánea del centro de masa corporal vs. tiempo, la cual a su vez se calculó de acuerdo a:

$$z_{CMC} = \frac{\int_{t_0}^{t_{des}} F_{zp} dt}{m} \quad (11)$$

Donde  $F_{zp}$  es la fuerza de propulsión, que se obtiene restando el peso corporal a la fuerza de reacción vertical;  $t_0$  es el inicio del registro de datos, y  $t_{des}$  es el instante del despegue.

Teóricamente, la altura del salto vertical depende tanto de la velocidad vertical de despegue como de la posición del centro de masa corporal al despegar el cuerpo del suelo (Bobbert & van Ingen Schenau 1988), según la fórmula:

$$JUMP2 = [(VELDES)^2 \cdot (2g)^{-1}] + z_{desCMC} - z_{paradoCMC} \quad (12)$$

La fórmula (12) necesita información obtenida tanto de la plataforma de fuerza como del sistema de video. Si se ignora la elevación de CMC antes del despegue, se puede calcular la altura del salto únicamente a partir de la velocidad vertical de despegue, obtenida directamente de la plataforma de fuerza:

$$JUMP3 = (VELDES)^2 \cdot (2g)^{-1} \quad (13)$$

Por último, el tiempo en el aire se calculó como la diferencia entre el instante del despegue y el instante del aterrizaje. Para efectos del presente estudio, éstos se obtuvieron de la plataforma de fuerza cuando  $F_z < 3.0$  N y  $F_z > 3.0$  N, respectivamente. La altura del salto se obtiene entonces mediante la fórmula:

$$JUMPAIR = g \left( \frac{t_{aire}}{2} \right)^2 \cdot 2^{-1} \quad (14)$$

## Análisis estadístico

En vista de que la comparación de los distintos métodos asume que ASV es el criterio de referencia, es indispensable conocer la confiabilidad de dicho método. Se obtuvo la confiabilidad calculando el coeficiente de correlación intraclass, utilizando los cinco intentos de los 52 sujetos. Esta confiabilidad sirvió además como base para calcular el error estándar de medición (Baumgartner 1989).

Las alturas promedio del salto obtenidas según cada uno de los métodos se compararon mediante pruebas t para muestras emparejadas, con la corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples, a un nivel de significancia de

$p < 0,01$ . Además, se calculó el intervalo de confianza al 95% para la diferencia entre ASV y los otros tres métodos, utilizando el ajuste de Bonferroni para familias de intervalos de confianza.

Los coeficientes de validez y el error de predicción se calcularon mediante técnicas de regresión lineal simple, donde ASV era la variable dependiente y cada una de las variables restantes eran la variable independiente, según el modelo general:

$$y = \beta_0 + \beta x + E_j \quad (15)$$

## Resultados

La confiabilidad del método ASV se puede observar en el cuadro 2, a saber,

$r = 0,9938$ . El error estándar de medición es de 0,0055, ó 5,5 mm.

Cuadro 2

Coefficiente de correlación intraclase para ASV.  $n=52$ .  $i=5$

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	SS promedio	R
Intra-sujetos	0,0335827	208	0,000161	0,9938
Entre-sujetos	1,325270201	51	0,025986	

El cuadro 3 muestra algunas estadísticas descriptivas de los resultados de la altura del salto según los cuatro métodos utilizados. El resultado mayor se obtuvo con el método de referencia, ASV. Los tres métodos alternativos, JUMP2, JUMP3 y JUMPAIR obtuvieron promedios 15 mm, 159 mm, y 118 mm más bajos, respectivamente. Todas estas diferencias son estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ); además, todos los métodos dan diferencias significativas entre sí. La figura 3 presenta los intervalos del 95% de confianza para las diferencias entre cada método y ASV, con el propósito de dar una idea clara de la subestimación de la altura del salto que generalmente se obtiene, comparada con la altura real del salto.

Cuadro 3

Estadísticas descriptivas ( $n = 52$ )

	ASV	JUMP2	JUMP3	JUMPAIR
Promedio (m)	0,520 <sup>a</sup>	0,505 <sup>a</sup>	0,361 <sup>a</sup>	0,402 <sup>a</sup>
Mínimo (m)	0,372	0,365	0,240	0,263
Máximo (m)	0,663	0,667	0,503	0,550
Desv. est. (m)	0,070	0,077	0,066	0,067
Coef. var. (%)	13,4	15,3	18,3	16,6

a) Todas las diferencias entre medias son significativas ( $p < 0,01$ ).

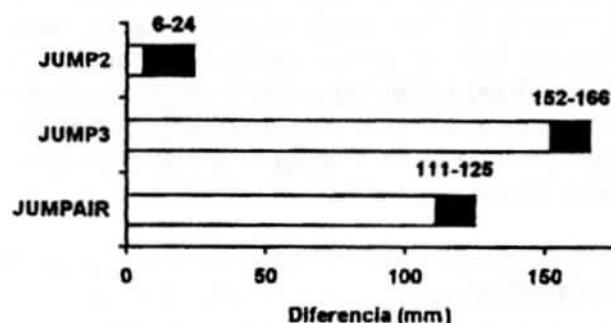


Fig. 3. Intervalo del 95% de confianza de la diferencia entre cada método y el estándar.

Tomando en cuenta que todas las variables presentadas son medidas de la misma ejecución del salto vertical de los sujetos, y utilizando siempre el método ASV como el criterio de referencia, se puede comparar la diferente variabilidad absoluta (desviación estándar) y relativa (coeficiente de varianza) presentes en cada método. JUMP3 es el método que introduce más variabilidad adicional relativa en los resultados, a pesar de tener un rango mucho más restringido que los demás.

El cuadro 4 presenta los resultados de los análisis de regresión simple. Los coeficientes de correlación "r" representan la validez de cada método. Todos los métodos fueron capaces de explicar más del 90% de la variabilidad

Cuadro 4

Análisis de regresión simple. ASV es, en todos los casos, la variable dependiente.  
 Todos los modelos son significativos ( $p < 0,0001$ )

Modelo	r	r <sup>2</sup>	MSE	Error
1) ASV = 0.087 + 0.857 <sup>a</sup> JUMP2	0,952	0,906	0,464E-03	0,0215
2) ASV = 0.154 + 1.014 <sup>b</sup> JUMP3	0,961	0,924	0,376E-03	0,0194
3) ASV = 0.117 + 1.002 <sup>b</sup> JUMPAIR	0,962	0,926	0,369E-03	0,0192

a) Este coeficiente es significativamente distinto de 1,0, ( $p < 0,01$ ).

b) Estos coeficientes NO son significativamente distintos de 1,0, ( $p < 0,01$ ).

en la altura del salto vertical (ver columna r<sup>2</sup>). El error estimado de predicción de los tres métodos está alrededor de los 20 mm. Finalmente, debe notarse que los coeficientes  $\beta$  de los modelos 2 y 3 son bastante cercanos a 1,0, y por ende la constante  $\beta_0$  es similar a la diferencia promedio indicada anteriormente.

## Discusión

Para poder hacer cualquier análisis comparativo es necesario tener un buen estándar o criterio. En este caso, el estándar (ASV) muestra una excelente confiabilidad y un error estándar de medición casi despreciable de 5,5 mm. Este método fue comparado con otros tres métodos pero no con el más utilizado, la prueba de Sargent. En la prueba de Sargent se utilizan los brazos para impulsarse, lo cual introduciría una variable adicional que no permitiría hacer comparaciones significativas.

Es claro que los cuatro métodos de cálculo de la altura del salto vertical dan resultados distintos. El método JUMP2 es teóricamente perfecto, pero requiere de una sincronización casi perfecta entre las señales de fuerza y video, ya que un error de sincronización va a causar que se utilice una posición de despegue (obtenida del video) que no corresponde al mismo instante que la velocidad de despegue (obtenida de la plataforma de fuerza). Como consecuencia, un error de sincronización de tan sólo 16,7 milésimas de segundo resultaría en un error en la posición relativa de despegue (y por ende en la altura del salto) de 4,4 centímetros (Aragón Vargas 1994).

El método JUMP3 no tiene el problema de sincronización, pero no toma en cuenta la altura relativa de despegue del sujeto. Eso no debería introducir mayor dificultad, ya que estudios anteriores permiten indicar que la contribución primordial al salto vertical y especialmente a las diferencias en ejecución entre sujetos corresponde a la velocidad de despegue (VELDES), mientras que la altura relativa de despegue es muy parecida entre un sujeto y otro (Aragón Vargas 1994). La altura relativa de despegue en este estudio fue de  $14,4 \pm 2,7$  cm, por lo cual se esperaría que fuera esa la diferencia aproximada entre JUMP3 y ASV. Como el intervalo de 95% de confianza de la diferencia fue de 15,2 a 16,6 cm, existe aún una subestimación de la altura del salto de casi un centímetro, que podría provenir del método de integración matemática de la curva de fuerza vertical.

Finalmente, el método JUMPAIR ha sido criticado por varios autores pues se basa en algunas suposiciones que no son totalmente ciertas (Dowling & Vamos 1993; Hatze 1995). Por ejemplo, los cálculos utilizados asumen que el tiempo de caída es igual a la mitad del tiempo de vuelo ( $t_{\text{aire}}$ ). En otras palabras, el tiempo de subida debe ser igual al tiempo de caída del CMC, lo cual solamente se cumpliría si cada sujeto despegara y aterrizara con su cuerpo en la misma posición. En este estudio, el tiempo de caída fue significativamente más largo (diferencia promedio = 0,0162,  $p < 0,0001$ ), lo cual sugiere que los sujetos aterrizaron en una posición agachada que resulta en una ligera sobreestimación de la altura del salto. Sin embargo, como este método no contempla la altura relativa de despegue, la altura

de salto obtenida es una subestimación de la altura real según ASV.

Los resultados presentados en los cuadros 3 y 4 y en la figura 3 permiten evaluar los métodos alternativos de cálculo del salto vertical para ver cuál da una mejor predicción de la altura real del salto, según se calculó por ASV. La diferencia promedio más pequeña corresponde a JUMP2, pero el análisis de regresión muestra que el error de estimación es mayor. Además, por ser la pendiente (el coeficiente  $\beta$ ) distinto de 1,0, el error varía según el nivel de los resultados, dando una subestimación para algunos sujetos y una sobreestimación para otros. Los métodos JUMP3 y JUMPAIR dan diferencias promedio más grandes, pero el error es mucho más estable, independientemente del nivel de los resultados. Si lo que interesa es comparar los resultados obtenidos antes y después de un tratamiento determinado, como ocurre en la mayoría de los estudios de salto vertical, no importaría tanto que un método dé resultados distintos a otro, siempre y cuando se utilice siempre el mismo método y su validez sea buena, como se demuestra aquí para los métodos JUMP3 o JUMPAIR. Si el interés del investigador o entrenador es más bien comparar entre resultados obtenidos con métodos distintos, es claro que la comparación no se puede hacer sin tomar en cuenta las diferencias inherentes a los métodos. Los parámetros detallados en esta investigación le permitirán hacer los ajustes necesarios con un grado razonable de exactitud.

Con base en los criterios enumerados anteriormente, y tomando en cuenta el equipo necesario para poder hacer las mediciones, el método más barato y sencillo es aquél que calcula la altura del salto a partir del tiempo en el aire, utilizando una estera instrumentada con cronómetro, como el "Ergojump" (Junghans GMBH-Schramberg, Alemania). El tiempo en el aire también se puede obtener del registro de la plataforma de reacción, como en el presente estudio. Este método permite obtener resultados de una validez excelente, que se pueden utilizar para computar la altura real del salto sin mayor dificultad.

## Referencias

- Aragón Vargas L.F. (1994). *Kinesiological Limits of Vertical Jump Performance*. Tesis doctoral sin publicar, Universidad de Michigan.
- Asmussen E, & Bonde-Petersen F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91 (3), 385-92.
- Baumgartner T.A. (1989): "Norm-referenced measurement: reliability", en *Measurement Concepts in Physical Education and Exercise Science*, Safrit M.J. & Wood T.M. (editores), Human Kinetics Books, Champaign, IL, USA, pp. 45-71.
- Blattner S, & Noble L. (1979). Relative effects of isokinetic and plyometric training on vertical jumping performance. *Research Quarterly*, 50 (4), 583-588.
- Bobbert MF, Huijing PA, & van Ingen Schenau GJ. (1987). Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19 (4), 3328.
- Bobbert MF, & van Ingen Schenau GJ. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21 (3), 249-62.
- Bosco C, & Komi PV. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 41, 275-284.
- Bosco C, Luhtanen P, & Komi PV. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 50 (2), 273-82.
- Clauser CE, McConville JT, & Young JW. (1969). *Weight, volume, and center of mass of segments of the human body*. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

- Clutch D, Wilton M, McGown C, & Bryce GR. (1983). The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54, 5-10.
- Davies BN, Greenwood EJ, & Jones SR. (1988). Gender difference in the relationship of performance in the handgrip and standing long jump tests to lean limb volume in young adults. *European Journal of Applied Physiology*, 58 (3), 315-20.
- Dowling JJ, & Vamos L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 95-110.
- Genuario SE, & Dolgener FA. (1980). The relationship of isokinetic torque at two speeds to the vertical jump. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51 (4), 593-8.
- Hatze H (1995). Comunicación personal con el autor.
- Hinrichs RN. (1990). Adjustments to the segment center of mass proportions of Clauser et al. (1969). *Journal of Biomechanics*, 23 (9), 949-951.
- Johnson BL & Nelson JK (1974). *Practical Measurements for Evaluation in Physical Education*. Segunda Edición, Burgess Publishing Co., Minneapolis, MN, U.S.A.
- Komi PV, & Bosco C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*, 10 (4), 261-5.
- Pandy MG, & Zajac FE. (1991). Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of Biomechanics*, 24 (1), 1-10.
- Sargent LW (1924). Some observations in the Sargent test of neuro-muscular efficiency. *American Physical Education Review o Nelson* 29: 47-56. Citado por Johnson & Nelson, 1974.
- Vaughan CL, Davis BL, & O'Connor JC. (1992). *Dynamics of human gait*. (pp. Chapter 3; Appendix B). Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics.
- Winter DA. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. (Second Edition). New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.