

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTES

# MEMORIA

## IV SIMPOSIO INTERNACIONAL EN CIENCIAS DEL DEPORTE Y LA SALUD

1 al 3 de Octubre de 1997

auspiciado por  
**GATORADE**

**San José, Costa Rica**

Nota del autor:

Este resumen de la presentación en 1994 fue el precursor de los manuscritos publicados posteriormente en inglés, en 1997.



## FACTORES KINESIOLOGICOS EN EL SALTO VERTICAL

Luis Fernando Aragón V., Ph.D.  
Escuela de Ed. Física y Deportes, U.C.R.  
Gatorade Sports Science Institute

*Esta ponencia fue originalmente presentada durante el I Simposio Internacional en Ciencias del Ejercicio y la Salud, Universidad de Costa Rica, en Octubre de 1994. Debido a la importancia del documento y en vista de que la memoria de ese simposio nunca se publicó, se*

*incluye el documento completo en esta memoria para beneficio de los lectores. Se discute en éste cuáles son los factores más relevantes para distinguir entre los mejores saltadores y los peores. Se discute además en detalle el papel de la potencia en el salto vertical. 12% de mejoría en la altura del salto.*

El salto vertical (SV) ha sido estudiado en detalle por varias décadas. Al inicio, el interés estaba centrado en la ejecución del salto durante deportes como el voleibol y el baloncesto, pero más recientemente también se ha generado gran interés por utilizar el salto vertical como una tarea sencilla que permite el estudio detallado del control motor de un movimiento multiarticular (Bobbert & van Ingen Schenau, 1988). Una pregunta que aún carece de una respuesta satisfactoria es ¿qué factores kinesiológicos son críticos para el rendimiento en el salto vertical? La tendencia general por parte de los entrenadores ha sido entrenar la fuerza muscular del tren inferior como medio para incrementar el SV, pero aparentemente existen otros factores que también pueden afectar el rendimiento en el salto vertical.

Existe gran cantidad de estudios sobre el papel de la fuerza muscular y los efectos de distintos métodos de entrenamiento de la fuerza sobre el SV (Ball 1964, Bangerter 1968, Blattner & Noble 1979, Brown et al. 1986, Eisenman 1978, Genuario & Dolgener 1980, McKethan & Mayhew 1974). La relación entre la fuerza muscular de las piernas y el SV es estadísticamente significativa, pero generalmente moderada ( $r \approx 0.50$ , Genuario & Dolgener 1980). Más aún, la mejoría en el salto luego del entrenamiento de fuerza es relativamente pequeña, con valores típicos de 1.78 cm a 8.13 cm. (Eisenman, 1978). Las mayores ganancias en SV se han reportado como consecuencia del entrenamiento isokinético (4.93 cm, Blattner & Noble 1979) y el entrenamiento pliométrico (5.50 y 7.30 cm., Brown et al. 1986), lo cual representa de 8 a

También se sabe que el SV se ve afectado por la presencia o ausencia del ciclo de estiramiento-acortamiento muscular. Los trabajos de Asmussen & Bonde-Petersen (1974), Komi & Bosco (1978), Cavagna, Dusman & Margaria (1968), Heitler & Burrows (1977a,b) y Yamazaki, Suzuki & Mano (1989), indican que aparentemente el rendimiento en el salto vertical se ve beneficiado cuando las tensiones musculotendinosas son altas al inicio de la acción muscular concéntrica. Otros estudios sobre la contribución relativa de las acciones articulares o de cada segmento al salto vertical (Fukashiro & Komi 1987, Hubley & Wells 1983, Luhtanen & Komi 1978, Pandy & Zajac 1991, Robertson & Fleming 1987), sobre el papel de los músculos biarticulares en el salto vertical (Bobbert & van Ingen Schenau 1990, Pandy & Zajac 1991, van Ingen Schenau 1989), y sobre detalles particulares al control motor del movimiento, tales como la coordinación de las acciones de los segmentos involucrados (Bobbert & van Ingen Schenau 1988, Hudson 1986, Jensen & Phillips 1991, Pandy & Zajac 1991), han permitido identificar una serie de variables que generalmente están presentes en el salto vertical máximo.

La mayoría de los factores identificados se hallan interrelacionados en forma compleja, de manera que la mejor forma de analizar su importancia relativa es mediante análisis de regresión múltiple. El propósito de este trabajo es identificar los factores kinesiológicos más relevantes para el salto vertical, a partir de una colección de variables obtenidas de un grupo de hombres de distintos niveles de performance en el SV.

**Metodología**

52 estudiantes universitarios físicamente activos 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 fue utilizado en los análisis, según se calculó de acuerdo a la fórmula (1).

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.

Para medir la fuerza isométrica del tren inferior (flexión y extensión de cadera, flexión y extensión de rodilla, y flexión plantar del tobillo) se utilizó una máquina isoquinética Biodex. Los ángulos en las articulaciones durante la prueba de fuerza fueron estandarizados para todos los sujetos. 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.

El modelo biomecánico utilizado y todos los procedimientos analíticos involucrados se han descrito en detalle previamente (Aragón Vargas 1994). En pocas palabras, se representó el cuerpo humano 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). Los datos obtenidos de la plataforma de fuerza y el sistema de video fueron procesados para calcular la altura del salto vertical (ASV), así como la colección de variables que serían analizadas.

La altura de salto vertical (ASV) se obtuvo

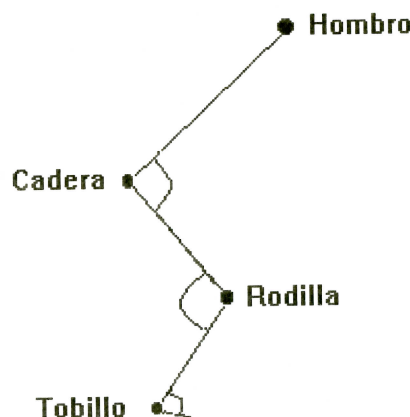
directamente de los datos de posición del centro de masa de todo el cuerpo (CMC), restándole la posición vertical del CMC cuando el sujeto estaba de pie, a la posición más alta alcanzada por el CMC durante el vuelo, según la fórmula:

$$ASV = z_{CMC_{cima}} - z_{CMC_{parado}} \quad (1)$$

La velocidad vertical de despegue (VELDES) se calculó de acuerdo a:

$$z_{CMC} = \frac{\int_{t_0}^{t_{des}} F_{z_p} dt}{m} \quad (2)$$

El cálculo de las demás variables se puede consultar en otros documentos (Aragón Vargas 1994). Dichas variables se enumeran y describen a continuación, en el cuadro 1:



**Figura 1. Modelo biomecánico.** Los segmentos ( $i = 1$  a 4) están definidos por las marcas: segmento 1, cabeza, brazos y tronco, del hombro a la cadera; segmento 2, muslos, de la cadera a la rodilla; segmento 3, piernas, de la rodilla al tobillo, y segmento 4, pies, del tobillo a la bola del pie.

**Cuadro 1.** Variables potenciales para la predicción de la altura del salto vertical (ASV).

AMP: Amplitud del movimiento.



**AVPRO:** Aceleración vertical promedio.

**CMCNETO:** Posición vertical neta del centro de masa del cuerpo al despegar.

**FUERZAS** Fuerza máxima isométrica en extensión y en flexión de cada articulación.

*j:* Se refiere a una articulación. **TOB** es tobillos, **ROD** es rodillas, y **CAD** es caderas.

**jACLMAX:** Aceleración articular positiva máxima durante la fase negativa.

**jANGDES:** Angulo de despegue de la articulación.

**jMMAX:** Torque articular neto máximo.

**jMREV:** Torque articular neto en el instante de la reversión articular.

**jPOTMAX:** Potencia máxima articular.

**MAXIMNEG:** Impulso negativo máximo del centro de masa del cuerpo.

**PESO** Peso corporal del sujeto en kilogramos.

**POTMAX:** Potencia mecánica máxima de todo el cuerpo.

**POTPRO:** Potencia mecánica promedio de todo el cuerpo.

**REVDP:** Secuencia de distal a proximal de las reversiones de las articulaciones.

**REVPD:** Secuencia de proximal a distal de las reversiones de las articulaciones.

**TDIFMMAX:** Tiempo transcurrido entre el primer torque máximo articular y el último.

**TDIFREVA:** Tiempo transcurrido entre la primera reversión articular y la última.

**TPROP:** Tiempo de propulsión.

**VELDES:** Velocidad vertical de despegue del centro de masa del cuerpo.

**VELDP:** Secuencia de distal a proximal de las diferencias máximas de velocidad entre las

articulaciones proximal y distal de cada segmento.

**VELPD:** Secuencia de proximal a distal de las diferencias máximas de velocidad entre las articulaciones proximal y distal de cada segmento.

## **Resultados**

Las características de los sujetos experimentales se pueden observar en el cuadro N° 2. El cuadro N° 3 contiene algunos resultados descriptivos de la performance del salto vertical. El peso corporal promedio (74.3 kg) está ligeramente por arriba del promedio para la población estadounidense (71.8 kg), según corresponde a la estatura promedio de 1.78m (Metropolitan Insurance Tables, 1959). La altura del salto vertical (ASV) estuvo entre 0.372 m y 0.663 m (promedio = 0.520 m), para un coeficiente de variación de 13.4%. Este salto vertical promedio es mayor que el reportado en la literatura para estudiantes universitarios en salto sin usar los brazos (p.ej., 0.49 m, Brown et al. 1986, 0.42 m, Bosco & Komi 1979), pero es menor al reportado para jugadores de baloncesto entrenados (0.55 m, Brown et al. 1986) o para jugadores de voleibol entrenados (0.54 m, Bobbert et al. 1987a). Es de especial importancia para este estudio que el grupo representa distintos niveles de habilidad en el salto y distintos niveles de actividad física habitual, ya que el grupo incluye siete jugadores del equipo de voleibol de la universidad, cuatro involucrados en deportes de fuerza (lucha grecorromana, físicoculturismo, y beisbol profesional), y dos atletas de resistencia (remo y carrera a campo traviesa), además de unos 20 sujetos que sólo participaban esporádicamente en baloncesto, trote, o levantamiento de pesas.

El cuadro N° 4 presenta los mejores modelos estadísticos para la predicción de ASV. Los modelos (1) y (2) indican que la medición fue bastante precisa, ya que el 95% de la variación en ASV puede explicarse utilizando la velocidad de despegue y la posición neta del centro de masa corporal como variables de predicción. De estas dos, la más importante fue la velocidad de despegue, la cual explica por sí sola el 93% de la variación en ASV. Los coeficientes de



determinación parcial, cuando la otra variable estaba ya presente en el modelo, fueron 0.937 para VELDES y 0.256 para CMCNETO.

Los modelos (3) a (7) son los mejores modelos para la predicción de ASV utilizando variables que representan la cinemática y dinámica de todo el cuerpo. Se puede observar que la potencia juega un papel muy importante, de manera que con sólo incluir la potencia mecánica máxima (potmax) y el peso corporal, se puede explicar un 72% de la variación en ASV.

Los modelos (8) a (12) tienen coeficientes de determinación más pequeños. Los mejores modelos de predicción incluyen muchas variables, de las cuales todas tuvieron un efecto significativo sobre ASV ( $p < .05$ ). Los tres mejores modelos incluyen la potencia máxima de la cadera (CADPOTMAX), la fuerza isométrica de extensión de rodilla (RODEXT), y una variable de torque en la cadera (CADMMAX o CADMREV), y son capaces de explicar aproximadamente el 60% de la variación en ASV.

Las variables individuales con mayor capacidad de predicción fueron la potencia y torque máximos en la cadera.

**CUADRO 2.**  
Características de los sujetos, n = 52.

Variable [nombre] (unidades)	Promedio	Desviación estándar	C.V. (%)
Edad [EDAD] (años)	20.2	2.1	10.4
Peso [PESO] (kg)	74.27	8.65	11.6
Talla [TALLA] (m)	1.79	0.06	3.4
Fuerza de cadera en extensión [CADEXT] (N m)	160.46	34.55	21.5
Fuerza de cadera en flexión [CADFLX] (N m)	101.57	18.79	18.5
Fuerza de rodilla en extensión [RODEXT] (N m)	230.03	43.90	19.1
Fuerza de rodilla en flexión [RODFLX] (N m)	121.05	24.20	20.0
Fuerza de tobillo en fl. plantar [TOBFLXP] (N m)	130.66	19.91	15.2

**CUADRO 3.**  
Características de ejecución del salto vertical, n = 52.

Nombre de la variable (unidades)	Promedio	Desviación est.	C.V.(%)
ASV (m)	0.520	0.070	13.4
VELDES ( $m * s^{-1}$ )	2.651	0.246	9.3
CMCNETO (m)	0.144	0.027	18.9
TPROP (s)	0.316	0.062	19.6
POTPRO (W)	2212.9	455.1	20.6
POTMAX (W)	3863.2	687.7	17.8



CUADRO 4.  
Los mejores modelos estadísticos para ASV. Excepto cuando se indica,  
todos los modelos fueron significativos a nivel  $p < .0005$ .

Modelo de predicción para ASV	R <sup>2</sup>	R <sub>a</sub> <sup>2</sup>
1) ASV = k + veldes + cmcneto	.95	.94
2) ASV = k + veldes	.93	.93
3) ASV = k - peso - avpro + potpro + potmax	.89	.88
4) ASV = k - peso + amp + potmax + potpro	.88	.87
5) ASV = k + potmax - peso	.72	.70
6) ASV = k + potmax	.46	.45
7) ASV = k + potpro	.43	.42
8) ASV = k + cadpotmax + cadaclmax + rodext - rodflx - cadmrev + rodpotmax	.61	.56
9) ASV = k + cadpotmax + rodext + rodpotmax + cadaclmax - rodflx - cadmmax	.61	.56
10) ASV = k + cadpotmax - cadmrev + rodacclmax + cadaclmax + rodext	.59	.55
11) ASV = k + cadpotmax	.44	.43
12) ASV = k + cadmmax	.28	.26

variable con gran poder de predicción de ASV, por sí misma no permite comprender cuáles aspectos específicos de la performance distinguen a un saltador de otro. ¿Cómo logran los buenos saltadores alcanzar una mayor potencia y un mayor salto? Los modelos (8) a (12) que utilizan variables a un nivel de análisis de segmentos están más cerca de las bases mecánicas y fisiológicas de la performance. Estos modelos muestran que los resultados de las mediciones de fuerza muscular articular no son tan importantes como los torques y las potencias articulares durante el salto para la predicción de ASV. En investigaciones previas (Aragón Vargas 1994) hemos encontrado evidencia de que una razón por la cual no se ha encontrado que la fuerza muscular del tren inferior sea un predictor importante de ASV puede ser porque el comportamiento del músculo esquelético durante un salto vertical es radicalmente diferente a las acciones involucradas en las pruebas de fuerza isométrica, isotónica e isokinética.

El papel de la potencia en el salto vertical merece algunos comentarios adicionales. En esta investigación se ha presentado evidencia de que existe una fuerte relación entre la potencia mecánica máxima del centro de masa del cuerpo y ASV. Sin embargo, otros estudios proveen evidencia que sugiere que esta relación no es de causa y efecto, sino una simple asociación. En realidad, el salto vertical

## Discusión

Es claro que algunas de las variables seleccionadas para este estudio son excelentes como predictoras de ASV. La potencia mecánica máxima, el peso corporal, y la amplitud del desplazamiento del centro de masa del cuerpo aparecen en casi todos los mejores modelos que utilizaron la cinemática y dinámica del centro de masa del cuerpo. Los coeficientes de regresión para PESO y para el tiempo de propulsión (TPROP) son negativos, lo cual indica una relación inversa entre estas variables y la variable dependiente. Curiosamente, el máximo impulso negativo (MAXIMNEG) no fue tan importante como se esperaba, pensando en el hecho de que supuestamente cuanto mayor sea MAXIMNEG, mayor debería ser el efecto del ciclo de estiramiento-acortamiento o, como algunos lo llaman, el efecto del almacenamiento y reutilización de energía elástica. En este estudio, MAXIMNEG presenta una correlación moderada con los torques articulares máximos ( $0.35 < r < 0.70$ ), y tiene un efecto significativo sobre ASV ( $p = .023$ ), pero su coeficiente de determinación simple es bastante bajo ( $r^2 = .10$ ).

A pesar de que la potencia máxima es una



depende del trabajo realizado durante la fase de propulsión. Este trabajo se puede calcular según el cambio de energía cinética entre el punto más bajo del CMC ( $V_x = 0$  m/s) y el instante del despegue ( $V_x = \text{VELDES}$ ). Por ejemplo Giovanni Cavagna (1977) mostró que la altura del salto solamente aumentó un 10% cuando los músculos se veían sometidos a un estiramiento previo, mientras que la potencia fue aproximadamente 70% mayor; el aumento en la potencia obedeció principalmente a que el trabajo fue realizado en un tiempo menor. En una comparación entre salto vertical con pre-estiramiento sencillo y dos tipos de salto vertical con caída desde un banco, Bobbert et al. (1987) demostraron que la potencia puede variar considerablemente en un mismo sujeto haciendo saltos con distinta técnica, mientras que la altura del salto se mantiene casi constante. Esto se debe principalmente a que en los saltos que se logra mayor potencia, la amplitud del movimiento es menor, resultando en un trabajo total realizado más o menos igual. En palabras de Cavagna (1977), "el efecto del estiramiento sobre el salto (...) es un aumento en la potencia más que un aumento en el trabajo mecánico realizado (...) Cuando el movimiento ocurre, como en el salto, contra una masa determinada, el efecto del estiramiento es una mayor aceleración de la masa, esto es, un menor tiempo para alcanzar la velocidad máxima" (p. 103).

#### Referencias

- Asmussen E, & Bonde-Petersen F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91(3), 385-392.
- Ball JR, Rich QG, & Wallis EL. (1964). Effects of isometric training on vertical jumping. *Research Quarterly*, 35, 231-235.
- Bangerter BL. (1968). Contributive components in the vertical jump. *Research Quarterly*, 39(3), 432-436.
- 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. (1987a). Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 332-338.
- Bobbert MF, & van Ingen Schenau GJ. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249-262.
- Bobbert MF, & van Ingen Schenau GJ. (1990). Mechanical output about the ankle joint in isokinetic plantar flexion and jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(5), 660-668.
- Bosco C, & Komi PV. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 41, 275-284.
- Brown ME, Mayhew JL, & Boleach LW. (1986). Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 26(1), 1-4.
- Cavagna GA. (1977). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 5, 89-129.
- Eisenman PA. (1978). The influence of initial strength levels on responses to vertical jump training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 18(3), 277-282.
- Fukashiro S, & Komi PV. (1987). Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 8 Suppl 1, 15-21.
- 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), 593-598.
- Heitler WJ, & Burrows M. (1977a). The locust jump. I. The motor programme. *Journal of Experimental Biology*, 66(1), 203-219.
- Heitler WJ, & Burrows M. (1977b). The locust jump. II. Neural circuits of the motor programme. *Journal of Experimental Biology*, 66(1), 221-241.
- Hubley CL, & Wells RP. (1983). A work-energy approach to determine individual joint contributions to vertical jump performance. *European Journal of Applied Physiology*, 50(2), 247-254.



Hudson JL. (1986). Coordination of segments in the vertical jump. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(2), 242-251.

Jensen JL, & Phillips SJ. (1991). Variations on the vertical jump: individual adaptations to changing task demands. *Journal of Motor Behavior*, 23(1), 63-74.

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), 261-265.

Luhtanen P, & Komi RV. (1978). Segmental contribution to forces in vertical jump. *European Journal of Applied Physiology*, 38(3), 181-188.

McKethan JF, & Mayhew JL. (1974). Effects of isometrics, isotonics, and combined isometrics-isotonic on quadriceps strength and vertical jump. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 14(3), 224-229.

Pandy MG, & Zajac FE. (1991). Optimal muscular coordination strategies for jumping. *Journal of Biomechanics*, 24(1), 1-10.

Robertson DG, & Fleming D. (1987). Kinetics of standing broad and vertical jumping. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 12(1), 19-23.

Van Ingen Schenau GJ. (1989). From rotation to translation: constraints on multi-joint movements and the unique action of bi-articular muscles. *Human Movement Science*, 8, 301-337.

Yamazaki Y, Suzuki M, & Mano T. (1989). Performance of noncountermovement jump with both knee and hip joints fully extended. *Journal of Applied Physiology*, 66(4), 1976-1983.