

Comparación de las pruebas de Sargent y de tiempo en el aire para la medición del salto vertical con impulso de brazos

Luis Fernando Aragón Vargas, Ph.D.

Memoria del IV Simposio en Ciencias del Ejercicio y la Salud
Escuela de Educación Física y Deportes
Universidad de Costa Rica
Octubre de 1997

Este documento es la versión completa del segundo de dos estudios discutidos en la Conferencia Inaugural del IV Simposio Internacional en Ciencias del Ejercicio y la Salud, 1997. La medición del salto vertical es un procedimiento de rutina para miles de entrenadores y educadores físicos. Sin embargo, existen diferencias entre los resultados obtenidos con diferentes pruebas de salto vertical, aún en el caso de aplicar distintos análisis a un mismo salto. Para evaluar la confiabilidad y validez de estas pruebas, se hizo una serie de análisis a dos bases de datos. En un estudio anterior, 52 sujetos realizaron 5 saltos máximos sin impulso de brazos cada uno. Los saltos se registraron con una plataforma de fuerza Bertec a 300 Hz y con un sistema de video (Motion Analysis Corp.) a 60 Hz. Se calculó la altura del salto según cuatro fórmulas distintas. En el presente estudio, 57 estudiantes aspirantes a la carrera de Educación Física de la U.C.R. realizaron cinco saltos máximos con impulso de brazos (prueba de Sargent) sobre una alfombra-cronómetro; se calculó la altura del salto según Sargent y según la fórmula de tiempo en el aire (TAIRE). Todos los métodos arrojaron excelentes coeficientes de confiabilidad ($r > 0.97$), pero la validez de TAIRE fue menor en el salto con impulso de brazos ($r = 0.73$) que sin impulso de brazos ($r = 0.96$). Existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los resultados obtenidos con los diferentes métodos, de hasta 16 centímetros.

La medición del salto vertical es un aspecto rutinario para miles de entrenadores y educadores físicos. Esta medida se utiliza 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 obtenidos con diferentes pruebas de salto vertical, aún en el caso de aplicar distintos análisis a



un mismo salto (Aragón-Vargas 1996, Hatze 1995). Es importante que el administrador de las pruebas conozca las características de cada una, para así poder interpretarlas apropiadamente.

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 una prueba de campo 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. Además, tiene la ventaja (o desventaja, según el tipo de estudio) de que se aplica a un movimiento de salto con impulso de los brazos, tal y como se ejecuta en situación normal de juego. Sin embargo, en un intento por obtener una mayor precisión y dar mayor credibilidad a los resultados, se recurre a menudo a otros métodos que utilizan video, alfombras de sincronización y plataformas de fuerza, cuyas características los ubican más como "pruebas de laboratorio".

En un estudio anterior (Aragón-Vargas 1996) se analizaron cuatro métodos de laboratorio, utilizando como estándar el método denominado en ese estudio Altura del Salto Vertical (ASV). Este método 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; Pandey & Zajac 1991). En el estudio mencionado al inicio de este párrafo se demostró que es poca la ganancia obtenida en términos de confiabilidad cuando se utilizan los métodos más sofisticados y caros. Además, se recomendó que la prueba más práctica y útil, y que a la vez tiene un nivel de confiabilidad y validez excelentes, es el cálculo de la altura del salto basado en el tiempo que se mantiene el cuerpo en el aire. Lamentablemente, como en ese estudio los sujetos saltaron sin el impulso de los brazos, no fue posible hacer comparaciones con el método de Sargent, ni conocer el comportamiento de otro método también considerado de campo, basado en la medición del tiempo de vuelo, cuando se usa el impulso de los brazos.

El propósito de este estudio es, por lo tanto, ampliar los análisis realizados a los métodos "de laboratorio", realizando pruebas "de campo" aplicables al salto vertical con impulso de brazos. Se intenta entonces responder a tres preguntas relacionadas con la medición cotidiana de la altura del salto vertical: ¿Cuál es la confiabilidad de la prueba de Sargent, según se aplica en la Escuela de Ed. Física y Deportes de la Universidad de Costa Rica? ¿Qué tanto se altera la confiabilidad de JUMPAIR, calculada a partir de saltos sin impulso de brazos sobre una plataforma de fuerza, cuando se utiliza una alfombra sincronizada sencilla y se realizan saltos con impulso de brazos? ¿Existen acaso diferencias importantes entre los resultados obtenidos



con la prueba de Sargent y con una prueba basada en la medición del tiempo en el aire (JUMPAIR2)? La respuesta a estas preguntas es importante para el preparador físico, entrenador deportivo y educador físico, pues les permitirá evaluar cuánta precisión y calidad obtienen al aplicar pruebas sencillas de campo. 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 57 estudiantes (45 hombres y 12 mujeres) aspirantes a cursar la carrera de Educación Física en la Universidad de Costa Rica. Sus características básicas fueron (promedio \pm desviación estándar): los varones, 19.5 ± 3.0 años de edad, 65.9 ± 9.4 kg de peso, y 170.7 ± 6.1 cm de estatura; las mujeres, 20.4 ± 4.4 años de edad, 53.6 ± 6.1 kg de peso, y 157.4 ± 5.6 cm de estatura.

Los sujetos ejecutaron cinco saltos verticales máximos cada uno, a partir de una posición libre pero sin desplazamiento de los pies, y utilizando los brazos para ayudar a impulsarse hacia arriba. Los saltos se ejecutaron despegando y aterrizando sobre una alfombra-cronómetro (dos alfombrillas Tapeswitch signal mat, modelo CVP 1729, Tapeswitch Corporation of America, Farmingdale, NY 11735, U.S.A., conectadas a un reloj/contador

eléctrico de Lafayette Instruments, modelo 54035, Lafayette, IN 47903, U.S.A.), y marcando además el punto más alto posible en una pizarra de altura ajustable (saltímetro).

Procesamiento de datos

Para obtener la altura según el método de Sargent, se midió la distancia vertical (redondeada al centímetro más cercano) entre *el alcance*, que es el punto más alto alcanzado en posición erguida, de pie, y estirando un brazo hacia arriba lo más posible, y el punto más alto alcanzado durante el salto, según la marca de polvo de tiza registrada en la pizarra (Johnson & Nelson 1974):

$$\text{Sargent} = z_{\text{max}} - z_{\text{alcance}} \quad (1)$$

La altura del salto según el método JUMPAIR2 se obtuvo del tiempo de vuelo registrado por la alfombra-cronómetro, de acuerdo a la fórmula

$$\text{JUMPAIR2} = g * \left(\frac{\text{taire}}{2} \right)^2 * 2^{-1} \quad (2)$$

donde g es la aceleración de la gravedad ($9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), y *taire* es el tiempo de vuelo.

Análisis estadístico

Se obtuvo la confiabilidad de ambas pruebas calculando el coeficiente de correlación según Kerlinger (1988), utilizando los cinco intentos de los 57 sujetos. Esta confiabilidad sirvió además como base para calcular el error estándar de medición (Baumgartner 1989). Los demás análisis estadísticos, excepto



cuando se indica, se realizaron utilizando el valor más alto obtenido por cada sujeto, según el procedimiento normalmente utilizado en el campo de la Educación Física. Se compararon las alturas de salto obtenidas según cada uno de los métodos mediante una prueba *t* para muestras emparejadas, a un nivel de significancia de $p < 0.01$. Finalmente, se hizo una regresión lineal simple con JUMPAIR2 como variable dependiente y Sargent como variable independiente, para evaluar hasta qué punto ambos métodos están midiendo lo mismo.

evaluado. Sargent arroja un promedio de salto mayor que JUMPAIR2; el intervalo de confianza del 95% para la diferencia entre los métodos fue de 6.6 ± 2.0 cm si se comparan los resultados del mejor intento en cada método. Si se comparan los resultados del mejor intento de Sargent con el intento correspondiente de JUMPAIR2, el intervalo de confianza para la diferencia fue de 9.8 ± 1.7 cm.

El cuadro N° 2 muestra los coeficientes de correlación y determinación para evaluar la confiabilidad de cada método, así como el correspondiente error estándar de medición.

Resultados

El cuadro N° 1 muestra las estadísticas descriptivas básicas del grupo

Cuadro 1. Estadística descriptiva.

	n	Sargent (sólo el mejor intento)			JUMPAIR2 (sólo el mejor intento)		
		Promedio (cm)	S.D. (cm)	C.V. (%)	Promedio (cm)	S.D. (cm)	C.V. (%)
Hombres	45	54.3	6.4	11.9	47.7	7.9	16.6
Mujeres	12	39.9	7.1	17.8	33.3	7.4	22.3
TOTAL	57	51.3*	8.8	17.2	44.6*	9.8	21.9
		Sargent (sólo el mejor intento)			JUMPAIR2 (intento correspondiente al mejor intento de Sargent)		
TOTAL	57	51.3*	8.8	17.2	41.2*	7.9	19.2

(*) La diferencia entre Sargent y JUMPAIR2 es significativa, $p < 0.0001$.



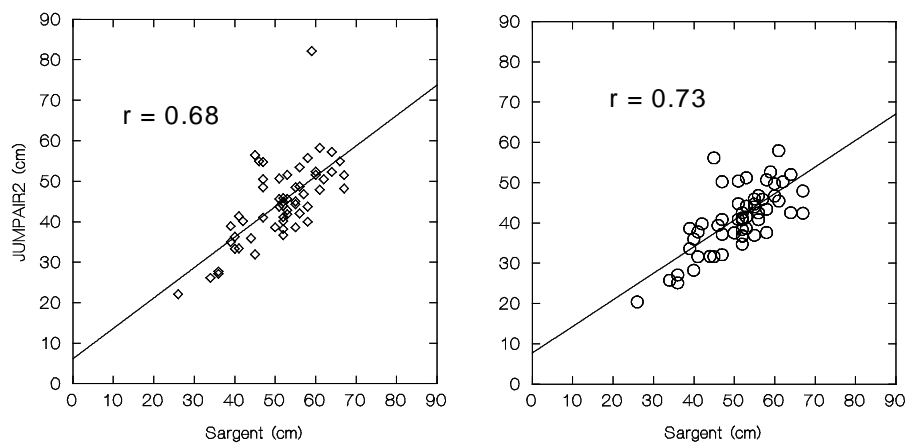
Cuadro 2. Confiabilidad de los métodos.

	Sargent	JUMPAIR2
Coefficiente de correlación (r)	0.986	0.956
Coefficiente de determinación (r ²)	0.972	0.914
Error estándar de medición (e.e.m.)	23.4 mm	32.5 mm

La figura N° 1 presenta los resultados del análisis de regresión simple. A pesar de que la correlación de 0.68 es significativa ($p < 0.0001$), el coeficiente de determinación indica que la varianza en Sargent solamente explica el 47% de la varianza en JUMPAIR2. En la figura N° 1 puede observarse que hay un

caso claramente fuera de lo normal. Este caso no se puede eliminar pues podría representar un dato importante. Sin embargo, el análisis de regresión simple sin incluir ese caso arroja resultados sólo ligeramente mejores: $r = 0.73$, $r^2 = 0.54$.

Figura 1. Relación entre las alturas de salto obtenidas por medio de ambos métodos. (a) mejor intento de cada método, $r^2 = 0.47$; (b) mejor intento de Sargent vs. intento correspondiente de JUMPAIR2, $r^2 = 0.53$.



Discusión

La última fila del cuadro N° 1 muestra las estadísticas descriptivas de los resultados de la misma ejecución del salto vertical de los sujetos. Es posible comparar la diferente variabilidad absoluta (desviación estándar) y relativa (coeficiente de varianza) presentes en cada método. Sargent presenta mayor variabilidad absoluta, mientras que JUMPAIR2 presenta más variabilidad relativa en los resultados de los mismos saltos. Además, la variabilidad relativa de Sargent y JUMPAIR2 en este estudio (17.2 y 19.2%, respectivamente) es mayor que la obtenida previamente para dos métodos de laboratorio equivalentes: ASV = 13.4%, y JUMPAIR = 16.6% (Aragón Vargas 1996). Sin embargo, al tratarse de distintos grupos de sujetos, esta diferencia puede provenir de los sujetos, y no necesariamente de los métodos mismos. Por esa razón es que se hace necesario calcular la confiabilidad de cada método.

Según Kerlinger (1988), una forma de evaluar la confiabilidad es utilizando el coeficiente de determinación, r^2 . Este coeficiente indica, en teoría, qué cantidad de la varianza total de una variable medida es una varianza "verdadera". Cuando se pasa de un método de laboratorio como ASV a su equivalente de campo, la prueba de Sargent, se pierde poca confiabilidad. Utilizando los coeficientes de determinación (r^2) como criterio, con ASV se obtiene un 98.7% de "varianza verdadera" (Aragón Vargas 1996),

mientras que con Sargent se obtiene un 97.2%. Hay que recordar que este último método involucra el impulso con brazos. Al comparar el método de tiempo en el aire medido con una plataforma de fuerza y sin usar impulso de brazos (JUMPAIR) con el tiempo en el aire para salto con impulso de brazos y utilizando una alfombrilla sincronizada (JUMPAIR2), se pierde mucho más confiabilidad: con JUMPAIR se obtiene un 98.7% de "varianza verdadera" (Aragón Vargas, datos sin publicar), mientras que con JUMPAIR2 sólo se alcanza 91.4%.

El error estándar de medición (e.e.m.) permite tener una idea de la precisión de cada prueba. A pesar de que cuando se utiliza equipo más sofisticado y el salto es sin impulso de brazos, el método de calcular la altura del salto según el tiempo en el aire (JUMPAIR, e.e.m. = 12.1 mm) es tan preciso como el estándar de medición por excelencia, ASV (e.e.m. = 12.7 mm, Aragón Vargas 1996), cuando se lleva este método a una prueba de campo con impulso de brazos se pierde mucha precisión. El método JUMPAIR2 es mucho menos preciso que JUMPAIR, y bastante menos preciso que Sargent, que es otra prueba de campo que también involucra el impulso con brazos.

La imprecisión de JUMPAIR2 podría obedecer a dos factores. En primer lugar, las alfombrillas o esteras sincronizadas son mucho menos sensibles que una plataforma de fuerza, por lo cual el tiempo en el aire se puede estar midiendo con un mayor margen de error. El segundo y quizás el más importante factor es el uso de los brazos para



impulsarse. El método JUMPAIR se basa en la suposición de que el centro de masa corporal está en la misma posición vertical en el instante del despegue y el aterrizaje. Se ha demostrado que esta suposición no es totalmente válida para el salto vertical con manos en la cintura, pero que ello afecta los resultados muy ligeramente (Aragón Vargas 1996). Sin embargo, al permitir que los brazos se muevan para impulsarse durante el salto, es muy probable que el sujeto despegue con los brazos extendidos hacia arriba, pero aterrice con los brazos recogidos frente al pecho, lo cual afecta mucho más la posición del centro de masa corporal y por ende el resultado obtenido con JUMPAIR2.

La diferencia entre la altura obtenida con Sargent y JUMPAIR2 es significativa. Ya se había determinado en un estudio anterior que al utilizar un método basado en el tiempo en el aire se obtiene una altura entre 111 y 125 mm menor que la obtenida directamente por el método ASV (Aragón Vargas 1996), debido a que el método de tiempo en el aire no toma en cuenta la elevación del centro de masa corporal desde la posición erguida, de pie, hasta la posición de puntillas en que se encuentra el sujeto al despegar del suelo. En este caso, el intervalo de confianza del 95% para la diferencia entre JUMPAIR2 y Sargent fue de 81 a 115 mm, que se puede explicar de la misma manera.

En conclusión, la prueba de campo de Sargent es más confiable y precisa para medir la altura del salto vertical con impulso de brazos que el método JUMPAIR2, a pesar de que

requiere de equipo mucho más sencillo y barato. Además, los resultados obtenidos con Sargent son más semejantes a la altura real del salto, según el criterio estándar de ASV.

Reconocimientos: Esta investigación tuvo financiamiento de la Vicerrectoría de Investigación y la Escuela de Educación Física y Deportes de la Universidad de Costa Rica, proyecto 245-95-276. Se agradece profundamente la ayuda del profesor M.Sc. Wilfridio Mathieu M. para la recolección de los datos del salto vertical.

Referencias

- Aragón-Vargas, L.F. & M.M. Gross (1997): "Kinesiological Factors in Vertical Jump Performance: Differences Among Individuals". Journal of Applied Biomechanics 13(1):24-44.
- Aragón-Vargas, L. F. & M. M. Gross (1997): "Kinesiological Factors in Vertical Jump Performance: Differences Within Individuals". Journal of Applied Biomechanics 13(1):45-65.
- Aragón-Vargas, L. F. (1996): "Comparación de cuatro métodos para la medición del salto vertical". Revista Educación de la Universidad de Costa Rica 20(1): 33-40.
- Aragón Vargas L.F. (1994). Kinesiological Limits of Vertical Jump Performance. Tesis doctoral sin publicar, Universidad de Michigan.



- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Johnson BL & Nelson JK (1974). Practical Measurements for Evaluation in Physical Education. Segunda Edición, Burgess Publishing Co., Minneapolis, MN, U.S.A.
- Kerlinger F.N. (1988). Foundations of behavioral research. Second Edition (Spanish), Editorial McGraw-Hill, Mexico.
- 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 29:47-56. Citado por Johnson & Nelson, 1974.

