

EL SALTO VERTICAL COMO PRUEBA DE COORDINACIÓN MOTRIZ Y FUERZA EXPLOSIVA DE MIEMBROS INFERIORES

Matilde Espinosa Sánchez*

INTRODUCCIÓN

Las formas motoras básicas en el ser humano son esencialmente: caminar, correr, saltar, empujar, lanzar, trepar y nadar. Sin embargo, las posibilidades motoras humanas pueden ser muy amplias y variadas, dependiendo de la orientación e interés; es decir, si la actividad se realiza como parte de la vida cotidiana, como medio de recreación o dentro del ámbito deportivo-atlético.

Considerando este último aspecto, la habilidad en el salto vertical representa un papel crítico en la ejecución de muchas destrezas atléticas (Ashley y Weiss 1994). El rebote de un tiro fallado en el basquetbol, el bloqueo de una bola picada en la red en el volibol, y el completar un salto de altura en el atletismo, son algunos ejemplos de actividades en donde la habilidad de un buen salto contribuye en el éxito.

Sabemos por otro lado, que el contenido de los planes de entrenamiento es la síntesis de la condición y de las medidas o evaluaciones teóricas, técnicas, metódico-prácticas y del entrenamiento que el entrenador utiliza para relacionar individualmente a sus atletas entre sí y con sus homólogos (Grosser y Starischke 1989).

La condición física y la serie de mediciones que se realizan para evaluarla están en relación mutua. Los procedimientos de control,

* Área de Biomecánica Deportiva, Unidad de Investigación en Cómputo Aplicado, Dirección General de Servicios de Cómputo Académico, UNAM.

tests o pruebas son mediciones indispensables en el diseño de los planes de entrenamiento de la condición, es decir, la suma de las facultades físicas que determinan el rendimiento deportivo.

Por otro lado, las capacidades de coordinación motriz deben considerarse como un ingrediente muy importante para el logro de un buen desempeño. El ordenamiento de las acciones motoras orientadas hacia un objetivo determinado, significa la armonización de todos los parámetros del movimiento en el proceso de interacción entre la persona y los factores ambientales (Meinel y Schnabel 1987).

La prueba que se propone en este trabajo es experimental y se clasifica como una prueba biomecánica. Como disciplina de las ciencias aplicadas al deporte le corresponde en este caso, estudiar la facultad de la condición conocida como la de fuerza-velocidad, y especialmente la fuerza explosiva.

En un salto vertical el cuerpo se desplaza en contra de la fuerza de la gravedad, utilizando la fuerza de sus propios músculos. La prueba constituye un procedimiento que permite conocer la capacidad de efectuar un esfuerzo máximo en un tiempo muy corto; pero no sólo eso, sino que también permite evaluar la conducción del movimiento. Esto es, esta evaluación habla del aprendizaje motor del individuo que se refleja en las características espaciales (como las distancias y la traslación de los segmentos corporales), y las características temporales (como la duración y la velocidad de ejecución).

Las condiciones en que se realice el salto pueden repetirse en el mismo o en diferentes individuos, y los parámetros que se obtienen son comparativos y confiables (Aguilar 1991).

Es la fuerza motriz (Fetz y Kornex 1976) la capacidad de un organismo de ejercer con su musculatura una presión o tracción contra una resistencia. Dependiendo de las características de la aplicación, puede dividirse en fuerza estática y fuerza dinámica. En el área de la fuerza dinámica, la fuerza explosiva suele ser muy significativa dentro de las especialidades deportivas. La fuerza explosiva es la contracción muscular que provoca la aceleración máxima de una masa. Como en gran parte de las disciplinas deportivas, en este caso se trata de mover el propio cuerpo.

La identificación de las variables asociadas con la habilidad del salto vertical contribuyen a mejorar el salto mediante estrategias apropiadas de entrenamiento.

Algunas de las variables que contribuyen la ejecución del salto vertical incluyen la fuerza y la potencia ejercida por los músculos en la cadera, en las rodillas y en los tobillos. Así, la fuerza del muslo, la pierna y el pie podrían predecir la habilidad del salto. La característica motriz que principalmente se exige al aplicar esta prueba, es la fuerza explosiva de la musculatura del salto. La prueba es aplicable a niños, jóvenes y adultos de ambos sexos.

Este trabajo se diseñó para examinar la asociación que existe entre la ejecución del salto vertical y las teorías físicas del movimiento uniformemente acelerado, de la segunda ley de Newton, del trabajo, la energía y la potencia.

MÉTODO

Hay varias maneras de evaluar las capacidades de un individuo por medio del análisis del salto vertical y éstas dependen de los recursos tecnológicos con que se cuente. Lo mínimo necesario es una cinta métrica o su equivalente, y un dispositivo para marcar con los dedos la altura alcanzada. En el procedimiento que se propone, los recursos son una cámara de video, un trípode, una pared y una computadora con el *software* específico.

El sujeto deberá realizar una prueba de salto vertical conocida como *jump and reach* o salto diferencial. Una pared hace las veces de aparato de la prueba. La vista sagital del sujeto se graba (figura 1) por medio de una cámara de video, el sujeto puede realizar varios intentos, posteriormente se digitaliza la secuencia de imágenes del mejor salto y se procesa para obtener los resultados utilizando un software específico instalado en una computadora personal compatible. El *software* específico es un módulo de programa del sistema ANABIO© (Espinosa 1993), que consiste en localizar el centro de masa (o centro de gravedad) del individuo para cada uno de los instantes que componen la secuencia del movimiento (figura 2).

En el análisis del salto vertical se identifican dos fases principales: *a)* la de impulso, que corresponde a los movimientos del individuo hasta antes de despegar del piso; y *b)* la de vuelo, que corresponde a los movimientos del individuo a partir del despegue del piso y hasta que alcanza la altura máxima.

Al determinar donde se localiza el centro de masa del cuerpo del individuo en las posiciones fundamentales del salto vertical, podemos calcular los recorridos del mismo en la fase de impulso y en la fase de vuelo. Las distancias verticales del recorrido del centro de masa se calculan a partir de las distancias del centro de masa del cuerpo al piso.

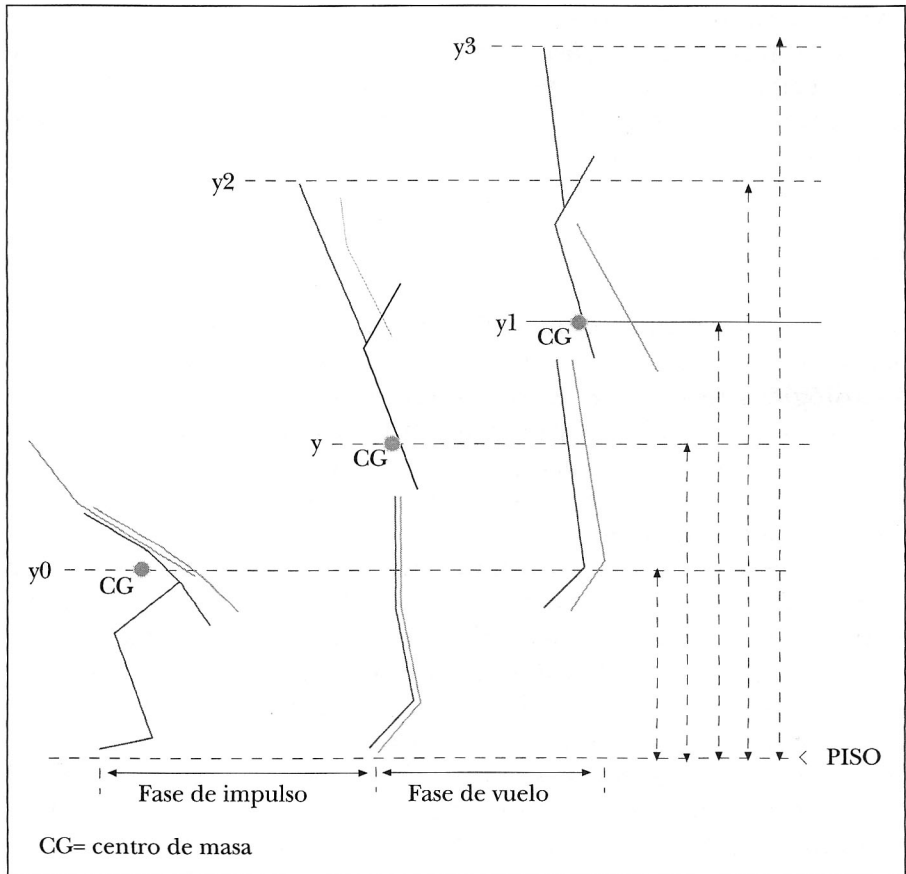


Figura 1. Fases del salto vertical.

Ecuaciones utilizadas en los cálculos

Como el salto posee las características del movimiento uniformemente acelerado.

Se tiene en la fase de impulso:

$$\begin{array}{l} v_f^2 = v_i^2 + 2ax \\ v_d^2 = 0 + 2a_i d \end{array} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} v_i = 0 \\ v_f = v_d \end{array} \longrightarrow a_i = \frac{v_d^2}{2d}$$

Y en la fase de vuelo:

$$\begin{array}{l} v_f^2 = v_i^2 + 2ax \\ 0 = v_d^2 - 2gd \end{array} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} v = 0 \\ v_f = v_d \end{array} \longrightarrow v_d = \sqrt{2gh}$$

Donde:

y_0 = altura del centro de masa al piso en el instante de máxima flexión profunda [m]

y = altura del centro de masa al piso en el instante en que se desprende del piso [m]

y_1 = altura del centro de masa al piso en el instante que el individuo alcanza la altura máxima [m]

v_d = velocidad de despegue [m/s]

a_i = aceleración de impulso [m/s²]

t_i = tiempo de la fase de impulso [s]

t_v = tiempo de la fase de vuelo [s]

Tomando en cuenta la masa del sujeto y la velocidad de despegue se puede conocer la energía cinética desarrollada, con las distancias verticales del recorrido del centro de masa es posible calcular el trabajo externo realizado.

$$e_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad e_p = mgh \quad W = e_k + e_p$$

$$P = \frac{W}{t_i + t_v} \quad I = Ft_i \quad F = ma_i$$

Donde:

e_k = energía cinética [joule]

e_p = energía potencial [joule]

W = trabajo [joule]

P = potencia [watt]

I = impulso [N s]

F = fuerza [N]

La fuerza muscular que produce el desplazamiento total puede calcularse por medio de la segunda ley de Newton. La potencia total del salto se obtiene también, a partir de los valores de tiempo y trabajo. La cantidad de movimiento o *momentum* en el despegue se obtiene del producto de la masa por la velocidad de despegue. El valor de la cantidad de movimiento es igual al valor del impulso del salto. La aceleración producida por los músculos en el impulso se obtiene a partir de la velocidad de despegue y por medio de una de las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado. Los tiempos se determinan contando el número de cuadros o instantes que componen la secuencia de cada fase del salto en el sistema computarizado (figura 2).

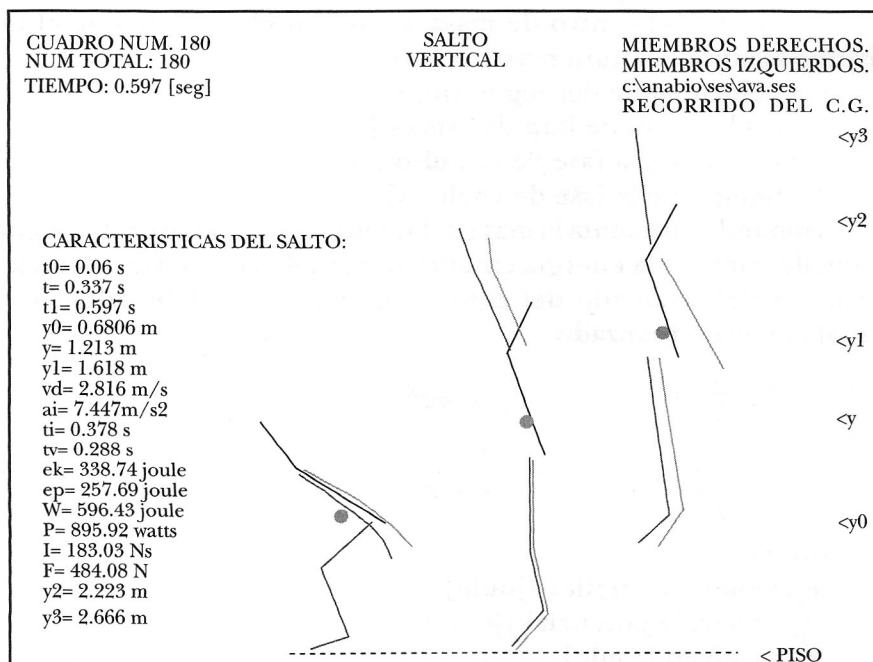


Figura 2. Pantalla de salida de resultados del programa que calcula los parámetros del salto. En este programa el cuerpo humano está representado por 14 segmentos corporales.

PRUEBA DEL SALTO VERTICAL

El sujeto ejecuta el salto utilizando la siguiente técnica: sin carrera previa, se coloca de perfil a una pared (el plano sagital del individuo es paralelo al plano de la pared), de pie a unos 20 ó 30 cm con los pies paralelos, separados y alineados con el ancho de la cadera, realiza una flexión profunda del tronco, flexionando las rodillas y girando los miembros superiores hacia la parte posterior hiperextendiendo los hombros. Esta es la posición inicial para la ejecución del salto. El individuo se concentra e inicia simultánea y coordinadamente varios movimientos; flexiona la articulación de los hombros haciendo girar los miembros superiores hacia el frente y hacia arriba, el tronco y las rodillas se extienden, por último los tobillos realizan una flexión plantar y el miembro superior, cuya mano se esfuerza por hacer el toque en la altura máxima posible con los dedos sobre la pared, se extiende completamente.

Antes de ejecutar el salto, el sujeto deberá calentarse y realizar varios saltos,

RESULTADOS

Se aplicó la prueba a 13 estudiantes (dos mujeres y 11 hombres) del Centro de Educación Continua de Estudios Superiores del Deporte de la UNAM. En el cuadro 1 se muestran las características de los participantes, a los que se les explicó la técnica con la que tenían que realizar el salto; antes de hacer la prueba hicieron ejercicios de calentamiento y realizaron saltos de práctica. En la figura 3 se observa el instante en el que cada individuo, excepto uno, alcanza la altura máxima de su salto. Los sujetos se identifican con el nombre que se le dio al archivo de movimiento correspondiente. El mejor salto lo efectuó AVA. En la figura 4 se muestran algunos de los instantes de la secuencia de movimiento.

En el cuadro 2 se listan las distancias y los tiempos de cada salto y en el cuadro 3 los resultados de los parámetros que caracterizan los saltos. En el cuadro 4 se presenta un análisis estadístico básico descriptivo, con el objetivo de comparar los resultados del mejor salto con los valores estadísticos.

Cuadro 1.

Personas evaluadas. Alumnos del CECESD, UNAM (enero/1996)

Archivo	Especialidad deportiva	Edad[años]	Masa [kg]	Talla[mm]	Sexo[m/f]
ALO	Acondicionamiento físico	24.33	64	1640	m
ARZ	Acondicionamiento físico	21.58	73	1730	m
AVA	Volleyball	18.33	65	1640	m
BAR	Basketball	27.75	63	1740	m
GOM	Acondicionamiento físico	21.08	65	1700	m
LOP	Gimnasia artística	23.83	56	1650	m
MILL	Basketball	26.16	64	1680	f
MOR	Acondicionamiento físico	31.33	78	1800	m
QUI	Basketball	30.91	87	1780	m
ROD	Acondicionamiento físico	26	87	1800	m
ROJ	Acondicionamiento físico	20	65	1680	f
VAL	Volleyball	20.83	67	1560	m
VALD	Basketball	23.58	89	1790	m

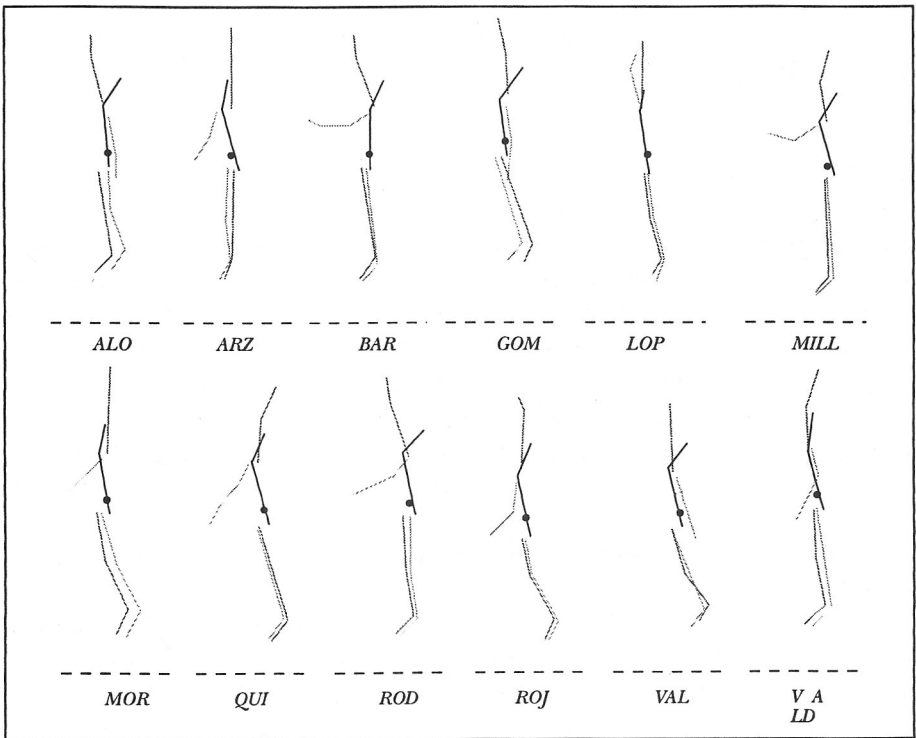


Figura 3. Instante correspondiente al alcanzar la altura máxima del salto.

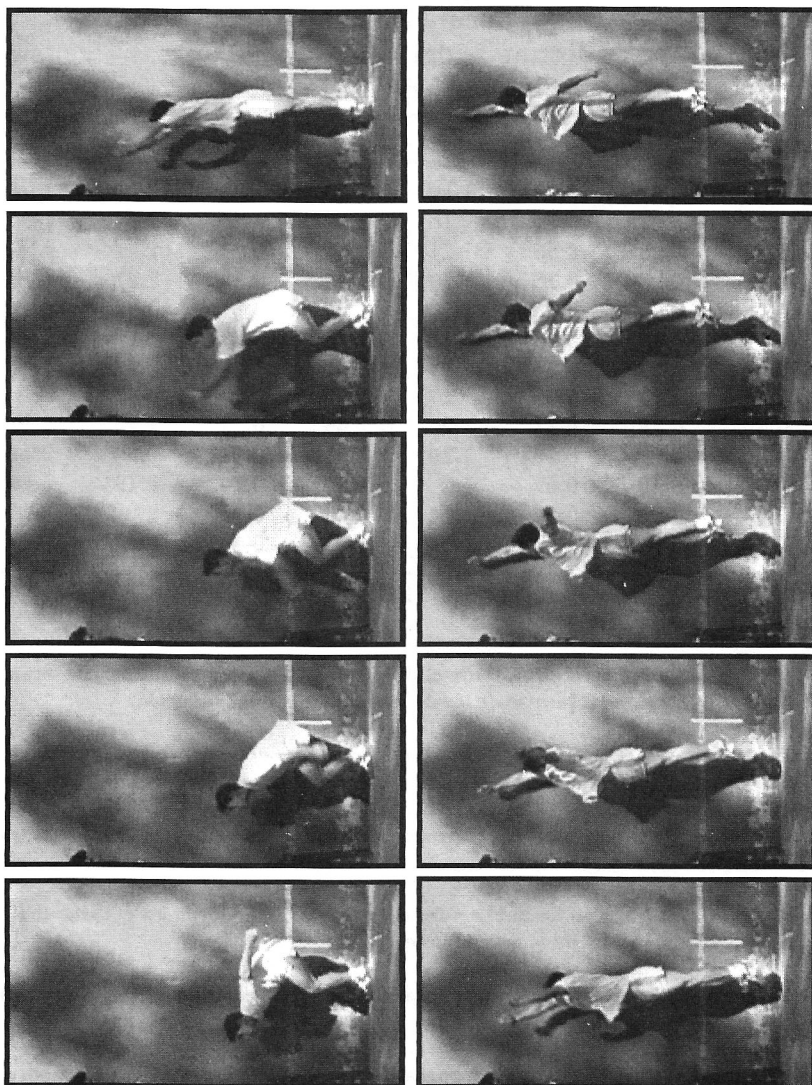


Figura 4. Algunos instantes de la secuencia del salto de AVA.

Cuadro 2.
Tiempos y distancias del salto de cada uno
de los participantes

<i>Archivo</i>	$t_i[s]$	$t_v[s]$	$y_0[m]$	$y[m]$	$y_1[m]$	$\text{salto}[m]$	$y_2[m]$	$y_3[m]$
ALO	0.34	0.27	0.75	1.19	1.56	0.46	2.15	2.61
ARZ	0.39	0.24	0.71	1.16	1.44	0.37	2.27	2.64
AVA	0.38	0.29	0.68	1.21	1.62	0.53	2.17	2.70
BAR	0.46	0.23	0.76	1.29	1.55	0.38	2.27	2.65
GOM	0.36	0.3	0.71	1.23	1.65	0.51	2.29	2.80
LOP	0.39	0.26	0.65	1.15	1.47	0.37	2.22	2.59
MOR	0.63	0.21	0.71	1.34	1.55	0.35	2.20	2.49
MILL	0.56	0.17	0.79	1.27	1.42	0.29	2.40	2.75
QUI	0.55	0.18	0.81	1.29	1.45	0.27	2.32	2.59
ROD	0.5	0.22	0.76	1.29	1.51	0.31	2.33	2.64
ROJ	0.6	0.18	0.67	1.2	1.36	0.29	2.19	2.48
VAL	0.43	0.24	0.64	1.14	1.42	0.35	2.08	2.43
VALD	0.59	0.22	0.69	1.34	1.59	0.44	2.30	2.74

t_i = Tiempo de impulso: empleado desde la flexión profunda del cuerpo hasta un instante antes del despegue.

t_v = Tiempo de vuelo: empleado desde el despegue del piso hasta alcanzar la altura máxima al tocar la pared con las puntas de los dedos de la mano más elevada.

y_0 = Distancia desde el piso hasta el centro de gravedad del cuerpo en el instante de máxima flexión profunda del cuerpo.

y = Distancia desde el piso hasta el centro de gravedad del cuerpo en el instante antes del despegue del piso.

y_1 = Distancia desde el piso hasta el centro de gravedad del cuerpo en el instante de tocar la pared en altura máxima de la mano más elevada.

y_2 = Distancia desde el piso hasta las puntas de los dedos de mayor elevación en el instante antes del despegue del piso.

y_3 = Distancia desde el piso hasta las puntas de los dedos que tocan la pared en el instante de altura máxima.

Cuadro 3.
Parámetros calculados de cada salto

Archivo	$vd[m/s]$	$ai[m/s^2]$	$ek[joule]$	$ep[joule]$	$W[joule]$	$P[watt]$	$I[N s]$	$F[N]$
ALO	2.66	7.91	280.75	226.77	507.52	833.97	170.37	506.1
ARZ	2.33	6	324.4	198.9	523.29	834.13	170.4	438.13
AVA	2.82	7.45	338.74	257.69	596.43	895.92	183.03	484.08
BAR	2.29	4.94	326.33	164.73	491.05	705.21	144.07	311.34
GOM	2.89	8.04	329.84	270.7	600.54	918.27	187.59	522.25
LOP	2.51	6.39	271.18	177.01	448.19	689.22	140.8	357.85
MOR	2.02	3.23	481.57	158.91	640.49	770.72	157.45	251.99
MILL	1.7	3.02	299.17	92.32	391.47	532.11	108.71	193.36
QUI	1.77	3.24	410.35	135.72	546.06	752.22	153.67	281.7
ROD	2.11	4.21	449.03	193.23	642.26	897.56	183.36	366.52
ROJ	1.76	2.93	335.58	100.39	435.97	559.2	114.24	190.37
VAL	2.34	5.46	328.86	183.48	512.34	767.54	156.8	365.96
VALD	2.19	3.7	565.81	213.7	779.51	954.7	195.04	329.09

v_d = Velocidad de despegue: del centro de gravedad del cuerpo en el instante del desprendimiento de los pies del piso.

a_i = Aceleración de impulso: del centro de gravedad del cuerpo ganada durante el tiempo de impulso.

ek = Energía cinética: debida al movimiento del centro de gravedad durante el impulso del salto

ep = Energía potencial: debida a la posición del centro de gravedad del cuerpo en el vuelo del salto.

W = Trabajo mecánico realizado por la persona en el salto: impulso y vuelo del cuerpo.

P = Potencia en el salto: impulso y vuelo del cuerpo.

I = Impulso realizado por la persona en el tiempo del impulso del cuerpo durante el salto.

F = Fuerza resultante en el impulso de cuerpo durante el salto.

Cuadro 4.
Estadística básica descriptiva de los valores de todos los saltos comparados con los valores del mejor salto

	<i>y0[m]</i>	<i>y[m]</i>	<i>y1[m]</i>	<i>y2[m]</i>	<i>y3[m]</i>	<i>salto[m]</i>
Media	0.72	1.24	1.51	2.26	2.59	0.38
Desviación estándar	0.05	0.07	0.09	0.15	0.12	0.08
Mínimo	0.64	1.14	1.36	2.03	2.40	0.27
Máximo	0.81	1.34	1.65	2.50	2.76	0.53
AVA	0.68	1.21	1.62	2.22	2.67	0.53
	<i>ti[s]</i>	<i>tv[s]</i>				
Media	0.48	0.23				
Desviación estándar	0.10	0.04				
Mínimo	0.34	0.17				
Máximo	0.63	0.30				
AVA	0.38	0.29				
	<i>Vd[m/s]</i>	<i>ai[m/s²]</i>				
Media	2.26	5.12				
Desviación estándar	0.39	1.90				
Mínimo	1.70	2.93				
Máximo	2.89	8.04				
AVA	2.82	7.45				
	<i>ek[joule]</i>	<i>ep[joule]</i>	<i>W[joule]</i>	<i>P[watt]</i>	<i>I[N s]</i>	<i>F[N]</i>
Media	364.74	182.58	547.32	777.75	158.89	353.75
Desviación estándar	86.85	53.79	104.05	131.57	26.88	110.46
Mínimo	271.18	92.32	391.47	532.11	108.71	190.37
Máximo	565.81	270.70	779.51	954.70	195.04	522.25
AVA	338.74	257.69	596.43	895.92	183.03	484.08

DISCUSIÓN

Mediante la comparación de los valores, se obtuvo el siguiente análisis: el individuo que realizó el mejor salto en relación con su estatura y la distribución de su masa, corresponde al archivo de movimiento AVA con una distancia de 0.53 m. En el caso de los valores de tiempo se puede observar que AVA emplea poco tiempo durante la fase de impulso para hacer la flexión profunda; solo dos individuos, GOM y ALO, ocupan menos tiempo que él. Para la fase de vuelo, AVA es el segundo en utilizar más tiempo. GOM en menos tiempo realiza la

flexión profunda, y emplea una décima más en el vuelo, siendo el que en mayor tiempo logra la altura máxima. El tercer mejor salto corresponde a ALO, él destina el menor tiempo en llegar a la flexión profunda, y en la fase de vuelo tiene el tercer mayor tiempo.

Los tres tienen más o menos la misma masa, pero GOM es 6 cm más alto. En los valores de velocidad de despegue, GOM alcanza la mejor velocidad y la mejor aceleración en el impulso; AVA logra la segunda mejor velocidad de despegue y la tercera mejor aceleración de impulso. ALO tiene la tercera mejor velocidad de despegue, y la segunda mejor aceleración de impulso. Tanto GOM como AVA generan un valor de energía cinética cercana al promedio, y valores altos en energía potencial. Los valores de energía de ALO son menores, también el de potencia. GOM obtuvo el segundo mejor valor en la potencia del salto, y AVA el cuarto. Los valores del impulso son del mismo orden. En el caso de los valores correspondientes a la fuerza ejercida, GOM es el de mayor fuerza, le sigue ALO, y AVA ejerció el tercer mejor resultado en fuerza.

Los valores de tiempo de impulso, tiempo de vuelo, velocidad de despegue, aceleración de impulso y fuerza son determinantes para el resultado del salto; sin embargo, ninguno de estos parámetros determina definitivamente el resultado del salto. La diferencia posiblemente es la capacidad de acoplamiento, es decir, la capacidad de los individuos de coordinar apropiadamente los movimientos parciales del cuerpo entre sí, en el tiempo y en el espacio. Sin embargo, esta capacidad no se puede medir, ni calcular, se adquiere probablemente al aprender la técnica correcta de ejecución del movimiento.

CONCLUSIÓN

El método propuesto respeta las condiciones estándar necesarias para poder comparar los resultados entre personas de diferentes grupos o especialidades. Los criterios científicos de la prueba satisfacen la validez, fiabilidad y objetividad.

Es válida porque mide el desplazamiento del centro de masa durante el salto, punto que concentra y representa la distribución de la masa y peso del sujeto, de donde se deriva su capacidad de cargar. Es fiable porque el grado de exactitud de los parámetros calculados

se basa en los procedimientos probados de la localización del centro de masa en la imagen de un individuo (Miller y Nelson 1973), por lo que estos resultados se aproximan mejor a los valores reales. La prueba es objetiva porque es independiente de la persona que evalúa, la calificación que pueda otorgarse se deriva de los valores que se obtienen en forma automatizada y no es influenciada por el rendimiento demostrado por la persona examinada.

Esta prueba no es comparable con las pruebas tradicionales de salto vertical en las que se miden dos alturas: una, la del máximo alcance con los pies en el piso y los brazos extendidos hacia arriba (y_2); y la otra, la del máximo alcance en la culminación del salto (y_3). En ambos casos se señala sobre una pared con las yemas de los dedos el máximo alcance. Las yemas están humedecidas, untadas de magnesio o tiza.

La prueba se considera útil (Grossery y Starischke 1989), ya que sí analiza la fuerza motriz de los miembros inferiores de los deportistas examinados. El conocimiento del valor de los parámetros que caracterizan individualmente el salto es de necesidad práctica para la dosificación de las cargas, repeticiones e intensidad en los entrenamientos de fuerza.

Se concluye que esta prueba podría ser incluida en el estudio de la facultad motriz-condicional fuerza, para medir la fuerza explosiva de las piernas en individuos que realizan un deporte. Y por otro lado, se hace hincapié en que las cualidades coordinativas son un requisito indispensable para que los individuos logren un buen rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a los alumnos del CECESD, por su contribución entusiasta en este proyecto: a Alejandro López H., Cristina Salgado C., Armando Durán D. y Luis Ramírez O. por su valiosa cooperación.

REFERENCIAS

AGUILAR CASAS, M.

1991 *Apuntes de biomecánica para la Expo Ciencia y Deporte*, UNAM.

ASHLEY, C. Y L. W. WEISS

- 1994 Vertical Jump Performance and Selected Physiological Characteristics of Women, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(1): 5-11, febrero.

ESPINOSA, M.

- 1993 Implantación de un método computarizado para el análisis biomecánico de los ejercicios físicos, tesis de maestría en Ciencias de la Computación, UNAM.

FETZ, F. Y S. KORNEK

- 1976 *Tests deportivo-motores*, Editorial Kapelusz.

GROSSER, M. Y S. STARISCHKE

- 1989 *Test de la condición física*, Ediciones Roca, Barcelona, España.

MEINEL, K. Y G. SCHNABEL

- 1987 *Teoría del movimiento*, Editorial Stadium, Argentina.

MILLER, D. Y R. NELSON

- 1973 *Biomechanics of Sport*, Lea & Febiger, Philadelphia.

