

ESTUDIO CINÉTICO DE LA BATIDA DEL SALTO HORIZONTAL: TÓPICOS Y CONSIDERACIONES.

Juan García López, Juan-Azael Herrero Alonso, David García López, Ignacio Rubio Hernández, José Antonio Rodríguez Marroyo

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León

RESUMEN

Se pretendieron identificar las variables fuerza-tiempo (f-t), velocidad-tiempo (V-t) y potencia-tiempo (P-t) que más se relacionan con la distancia del salto horizontal (SH), y discutir sobre la validez de este test como predictor de la fuerza explosiva de las extremidades inferiores. Tras una sesión de familiarización con los tests, 144 estudiantes (96 hombres y 48 mujeres) realizaron 3 saltos verticales (SV) y 3 SH, sobre plataforma de contacto y plataforma de fuerzas, respectivamente. Se obtuvieron correlaciones entre SH y f-t y P-t relativas al peso corporal, así como con V-t. Los incrementos máximos f-t también se relacionaron con SH. Estas variables fueron diferentes en hombres y mujeres. Las relaciones entre SH y SV fueron altamente significativas, por lo que se considera que el test de SH es válido para evaluar la fuerza explosiva de las extremidades inferiores.

PALABRAS CLAVE: Salto horizontal, biomecánica, análisis cinético.

INTRODUCCIÓN

El test de SH tiene como objetivo medir de la fuerza explosiva de la musculatura extensora de las extremidades inferiores a partir de la distancia alcanzada durante el salto, habiendo sido utilizado en diversas poblaciones tanto deportistas (5) como escolares (6, 19); y en estudios de condición física y salud (18). Precisamente con este objetivo forma parte de diferentes baterías de pruebas suficientemente estandarizadas y validadas como la Batería Europea de aptitud física o EUROFIT, entre otras (18, 19).

Su utilización en deportistas también ha sido habitual, sin embargo Broer y Zernicke (1979) afirmaron que el salto vertical había sido más estudiado que el SH, debido quizás a su mayor similitud con las acciones físicas propias de la competición en numerosos deportes como, por ejemplo, el voleibol y el baloncesto (3). Entre los inconvenientes que se han asociado a la utilización de este test destacan los siguientes:

- El número de intentos entre 3 y 6 para hallar la distancia óptima (14). Unos autores afirman que al ser un test muy común, su aprendizaje es más rápido, y esto se traduce en una escasa variabilidad entre los diferentes intentos (14); otros en cambio describen que la longitud máxima del salto suele acontecer al cuarto intento, debido a la dificultad coordinativa que presenta (17).

- Posible influencia de la técnica de batida en el resultado. Numerosos autores han comentado la influencia de la correcta coordinación de los impulsos generados durante el salto (brazos, piernas y tronco) en la distancia final del mismo (3, 7), pero además, estudios más recientes han observado escasas relaciones entre las variables fuerza-tiempo registradas en la batida del salto y la longitud del mismo (1, 2, 3).

- Su correlación con el resto de test de fuerza explosiva. En la literatura algunos autores afirman que se relaciona pobremente (1,5), mientras otros afirman todo lo contrario (14,15).

El objetivo general de este trabajo es valorar la influencia de las variables cinéticas de la batida en el SH. Específicamente, se pretenden identificar las variables fuerza-tiempo, velocidad-tiempo y potencia-tiempo que más se relacionan con el resultado del salto, y discutir sobre la validez de este test para valorar la fuerza explosiva de las extremidades inferiores.

METODOLOGÍA

Participaron voluntariamente en este trabajo 144 estudiantes de educación física (20.4 ± 0.2 años, 1.73 ± 0.01 m, y 69.6 ± 0.93 Kg) subdivididos en dos grupos en función del sexo: 96 hombres (H) y 48 mujeres (M). El grupo H presentó las siguientes características: 20.6 ± 0.2 años, 1.78 ± 0.01 m y 75.0 ± 0.9 Kg. El grupo M se diferenció ($p < 0.001$) en la talla (1.63 ± 0.01 m) y el peso (58.7 ± 1.0 Kg), y no en la edad (20.1 ± 0.3 años), ya que estudiaban 2º Curso de la Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León.

Todos los estudiantes fueron evaluados dos días distintos separados entre sí por una semana; el primer día sirvió para familiarizarse con los protocolos, siendo tratados en el presente trabajo los datos correspondientes al segundo día de valoración. Los estudiantes fueron citados en el Laboratorio de Biomecánica de la Facultad en grupos de 10 personas, disponiendo de una hora para poder llevar a cabo la evaluación, en el mismo orden que se presenta, y que consistía en:

1-Entrega de fichas y valoración antropométrica: se entregaba a los sujetos una ficha de valoración donde debían anotar su nombre y edad, pasando a continuación a ser valorados mediante una sencilla antropometría que con la que se obtenía el Peso (báscula digital Tefal Sensitive Computer®), la Talla (tallímetro Detecto®) y la Altura Trocantérea (antropómetro digital Holtain®). Todas las medidas antropométricas citadas eran obtenidas 3 veces de manera secuencial (Peso-Talla-Altura Trocantérea), tomando el valor medio de las 3 mediciones, tal y como indica el GREC (9).

2-Medición del salto vertical máximo (ABK): tras haber llevado a cabo un calentamiento estandarizado (consistente en 10 min. de carrera continua, 10 min. de estiramientos y ejercicios de técnica de carrera y 5 saltos horizontales submáximos), los sujetos debían realizar tres saltos verticales máximos con los brazos libres sobre una plataforma de contacto (SportJump-v1.0®, validada a 500Hz en (10)), siguiendo el protocolo descrito por Abalakov en 1938 (ABK) y referido en la literatura específica (21). El descanso mínimo entre salto y salto fue de 1 minuto, tomando como valor la media de los 3 saltos registrados.

3-Medición de las variables asociadas al SH: los sujetos realizaron tres saltos horizontales máximos sobre plataforma de fuerza extensiométrica triaxial (Dinascan 600M®), utilizando una frecuencia de muestreo de 500 Hz y un tiempo de registro de 6 s, con lo cual, tenían tiempo para iniciar el salto a su conveniencia. Un evaluador se encargaba de registrar los valores fuerza-tiempo, mientras que, otros dos, medían la distancia del salto en un pasillo sobre el que se colocaba un sistema de dos cintas métricas paralelas de fibra de vidrio (Kangros®), haciendo coincidir en ambas la distancia del pie más retrasado, tal y como se refiere en la literatura específica (6). De los tres saltos horizontales se seleccionó el de mayor longitud, analizándose los valores fuerza-tiempo, y derivados de ellos mediante integración numérica (12), los valores velocidad-tiempo; siendo producto de ambas variables los valores potencia-tiempo. La metodología utilizada para tratar los datos fuerza-tiempo (Figura 1) es similar a la propuesta por otros investigadores que consideran relevantes, para el análisis del SH, las fuerzas horizontales (F_x), verticales (F_z) y resultantes (F_r) (1, 2, 3). Las velocidades y potencias horizontales (V_x y P_x , respectivamente) se calcularon atendiendo a la metodología de Mendoza y Shöllhorn (1993), y las velocidades y potencias verticales (V_z y P_z , respectivamente) se calcularon atendiendo a la metodología de Dowling y Vamos (1993) (Figura 2).

Se obtuvieron un total de 52 variables derivadas de cada salto, entre las que se incluían las fuerzas, velocidades y potencias máximas, en valores absolutos y relativos; las pendientes de incremento de las mismas calculadas cada 0.1 s, así como los tiempos transcurridos entre cada una de ellas (ej. Entre la F_x y F_z máximas) y con el despegue (ej. Entre la P_x máxima y el despegue). Los valores se muestran como media y error estándar de la media. Para el análisis estadístico se ha utilizado el paquete Statística-v5.0 para Windows, y la estrategia utilizada para determinar las variables que influyen en el rendimiento del salto ha sido obtener correlaciones con el mismo (prueba de Pearson) y diferencias significativas entre hombres y mujeres ("T-test" para variables independientes) para los valores de tiempo, velocidades, fuerzas o potencias, estas dos últimas, relativizadas al peso corporal.

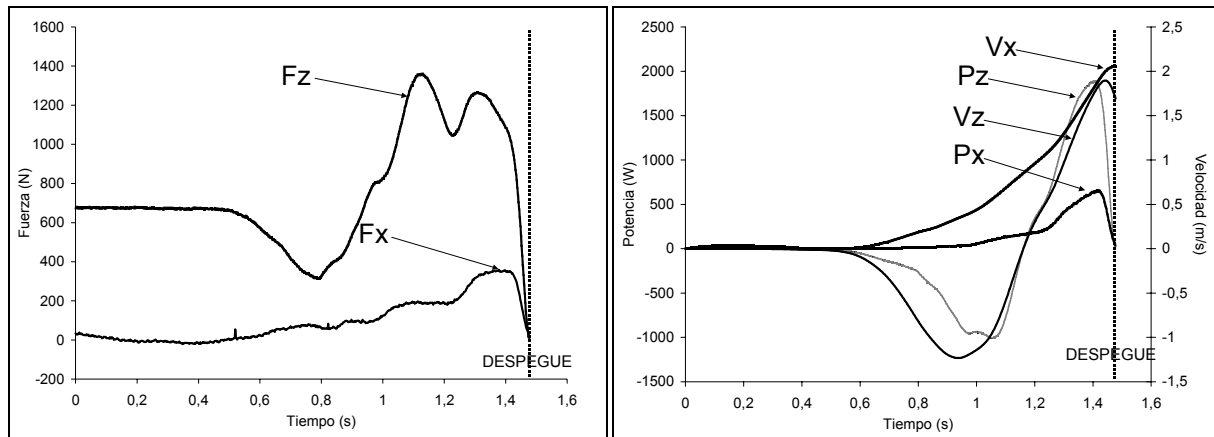


Figura 1.–Representación gráfica de la fuerza vertical (Fz) y horizontal (Fx) de la batida. 2.–Representación gráfica de la velocidades horizontal (Vx) y vertical (Vz), y potencias horizontal (Px) y vertical (Pz) de la batida.

RESULTADOS

En la Tabla 1 puede observarse que Fz máx, Fx máx y Fr máx, expresadas en función del peso corporal, se relacionan con el resultado obtenido en el salto, destacando las mayores relaciones de Fx máx. Existe una tendencia en los hombres a que una menor Fz min en el descenso o contramovimiento, favoreciendo un mayor salto; esta tendencia se observa mucho mejor si se analiza la Vz min, que se correlaciona con el salto tanto en hombres y mujeres, siendo menor todavía en los hombres; este mismo hecho ha sido descrito en el análisis del rendimiento del salto vertical (8). Sin embargo, los resultados que relacionan las fuerzas con el rendimiento en el SH no están en consonancia con los encontrados por otros investigadores (1, 3) quienes no obtienen correlaciones entre las fuerzas expresadas en valores relativos al peso corporal y la velocidad o el ángulo de salida del centro de gravedad en el momento de despegue de la batida. Estos trabajos eligieron mal las variables de eficacia del salto, olvidándose de introducir la distancia saltada; y es muy posible que un análisis 2D de baja frecuencia (50 Hz) y la utilización de parámetros inerciales estandarizados introduzca errores que hagan desaparecer dichas relaciones (22).

Las velocidades y potencias verticales, horizontales y resultantes siguen un comportamiento similar al que se ha descrito para las fuerzas, si bien, las relaciones con el SH máximo son ligeramente inferiores en las potencias, y todavía más bajas en las velocidades. Estos resultados contrastan con los descritos para el salto vertical, donde las velocidades y potencias verticales se relacionaban mejor con el rendimiento que las fuerzas verticales (8), posiblemente, porque la dirección del movimiento en el salto vertical coincide con la de estas variables, mientras que en el SH es una combinación de ambas en el tiempo. Todas las relaciones son menores en las mujeres, lo que nos indica que existen otros factores que influyen en el resultado final del salto. En la Figura 3a puede observarse que, los hombres que obtienen antes en el tiempo la máxima potencia vertical que la máxima potencia horizontal ($t Pz \text{ máx} - Px \text{ máx} > 0$) saltan más que cuando ocurre lo contrario ($t Pz \text{ máx} - Px \text{ máx} < 0$), contabilizándose un total de 60 y 36 casos, respectivamente. En las mujeres no existen diferencias significativas, aunque la tendencia a conseguir la máxima potencia vertical antes es la misma (30 y 18 casos, respectivamente).

Los incrementos de Fz, Fr y Pr también se han relacionado con la longitud del salto, y han mostrado diferencias entre hombres y mujeres. Estos resultados concuerdan con los de otros autores que sólo encontraron relación entre el incremento de Fz y la longitud del SH (2); sin embargo, ellos se referían a incrementos de Fz en valores absolutos, e hicieron referencia explícita a la no influencia de la Fz y la Fr en la longitud del salto. Sin duda, estas conclusiones estuvieron condicionadas por el escaso número de sujetos analizados (n=9),

un error en el protocolo (no se controló la velocidad y ángulo del centro de gravedad en los saltos horizontales submáximos) y la heterogeneidad antropométrica de los sujetos (rango de peso de 620–860 N); dicho de otra forma, los sujetos de mayor peso y con un mismo nivel de entrenamiento (todos ellos pertenecían al mismo equipo de voleibol) tienen mayor capacidad para incrementar los valores de fuerza, enmascarando este hecho la relación entre ambas variables, tal y como describen Atkinson y Nevill (2001). En los trabajos sobre salto vertical (8), el incremento de Fz no se relacionó con el salto, por lo que son necesarios posteriores estudios que confirmen o desmientan nuestros resultados.

	CORRELACIONES CON SH			DIFERENCIAS ENTRE SEXOS	
	Hombres	Mujeres	Todos	Mujeres	Hombres
SH (cm)	-	-	-	190±2	234±2
Fz mín (BW)	-0,28	-0,14	-0,18	0,48±0,03	0,46±0,02
Fz máx (BW)	0,20	0,44	0,37	1,97±0,03	2,10±0,02
Fx máx (BW)	0,61	0,45	0,60	0,46±0,01	0,50±0,01
Fr máx (BW)	0,22	0,45	0,40	2,01±0,03	2,14±0,02
Inc. Medio Fz (BW)	0,30	0,34	0,33	1,50±0,05	1,64±0,04
Inc. Fr (BW)	0,40	0,28	0,25	9,74±0,52	10,06±0,38
Vz mín (m·s ⁻¹)	-0,46	-0,38	-0,49	-0,87±0,04	-1,03±0,03
Vz máx (m·s ⁻¹)	0,13	0,39	0,57	1,39±0,02	1,72±0,02
Vx máx (m·s ⁻¹)	0,23	0,17	0,27	2,09±0,04	2,21±0,03
Vr máx (m·s ⁻¹)	0,26	0,34	0,54	2,49±0,03	2,78±0,02
t Vz mín - Vz "0" (s)	-0,09	-0,06	0,13	0,171±0,013	0,232±0,014
t Vz mín - Vz máx (s)	-0,08	0,02	0,17	0,377±0,016	0,455±0,016
t Vz "0" - Vz máx (s)	0,02	0,13	0,15	0,206±0,009	0,223±0,005
Pz máx (W·Kg ⁻¹)	0,16	0,36	0,53	20,16±0,47	27,46±0,60
Px máx (W·Kg ⁻¹)	0,47	0,30	0,50	8,29±0,25	9,65±0,20
Pr máx (W·Kg ⁻¹)	0,20	0,42	0,56	21,96±0,41	29,14±0,58
Inc. Pr (W·Kg ⁻¹ ·s ⁻¹)	0,16	0,42	0,42	146,01±4,42	188,64±5,48

Tabla 1. –Correlaciones (*r*) entre las 17 variables seleccionadas y el SH. Diferencias entre los valores medios obtenidos en mujeres y hombres: fuerza vertical mínima (Fz mín), fuerza vertical máxima (Fz máx), fuerza horizontal máxima (Fx máx), fuerza resultante máxima (Fr máx), incremento medio de fuerza entre Fz mín y Fz máx (Inc. Medio Fz), incremento máximo de fuerza resultante (Inc. Fr), velocidad vertical mínima (Vz mín), velocidad vertical máxima (Vz máx), velocidad horizontal máxima (Vx máx), velocidad resultante máxima (Vr máx), tiempo entre la velocidad vertical mínima y la transición entre flexión–extensión (t Vz mín - Vz "0"), tiempo entre la velocidad vertical mínima y la velocidad vertical máxima (t Vz mín - Vz máx), tiempo entre la transición entre flexión–extensión y la velocidad vertical máxima (t Vz "0" - Vz máx), potencia vertical máxima (Pz máx), potencia horizontal máxima (Px máx), potencia resultante máxima (Pr máx) e incremento máximo de potencia resultante (Inc. Pr). "BW" es el n° de veces el peso corporal. Significación estadística en función de la intensidad del sombreado: *p*<0.05, *p*<0.01 y *p*<0.001.

Los tiempos entre Vz mín, Vz "0" y Vz máx no fueron determinantes para el salto, pero sí diferentes entre hombres y mujeres, siendo mayor la duración total del salto en los hombres. Posiblemente, el movimiento de balanceo del centro de gravedad sobre un punto de apoyo (los pies) sea mayor en aquellas personas de mayor talla, representadas en este caso por los hombres, pudiendo así generar mayor fuerza durante más tiempo (por lo tanto, mayor impulso). En relación a este movimiento de balanceo del centro de gravedad, algunos autores han asociado la existencia de un doble pico de Fz con la ineficacia del SH (1, 3); sin embargo, nuestras observaciones cualitativas del SH empleando una cámara de alta velocidad (500 Hz) indican que dicho movimiento de balanceo pudiera provocar este doble pico de Fz. Cuando hemos distinguido entre hombres y mujeres aquellos con un solo pico (*n*= 26 y 26, respectivamente) y con dos o más picos (*n*= 64 y 22, respectivamente), los resultados contradicen las opiniones anteriores, ya que, los hombres con dos o más picos

tienen una mayor capacidad de salto (Figura 3b). En todo caso, y como también se indica en los trabajos sobre salto vertical (8), el doble pico de Fz no es un indicador de ineficacia; esto mismo han venido a reconocer estudios más recientes llevados a cabo sobre el SH (2).

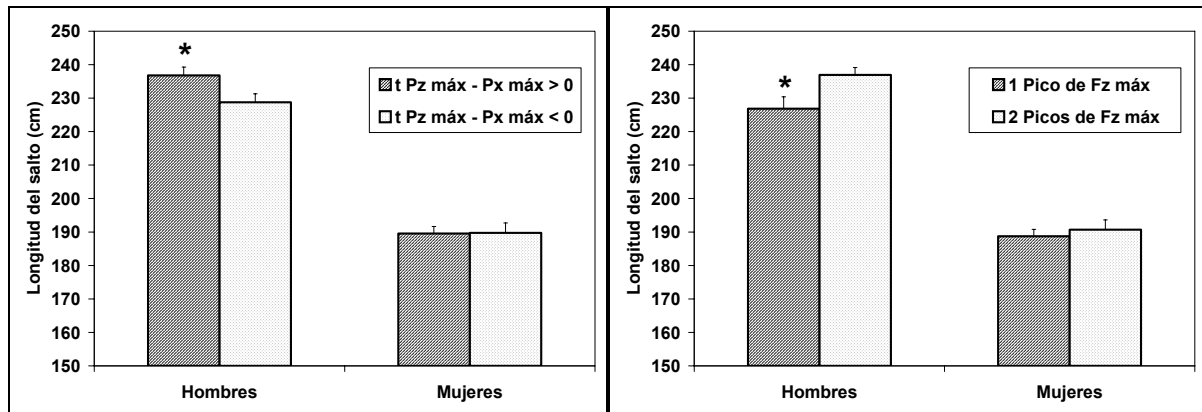


Figura 3a.–SH en hombres y mujeres en función de $t Pz \text{ máx} - Px \text{ máx} > 0$, o de que $t Pz \text{ máx} - Px \text{ máx} < 0$. * = $p < 0.05$.

Figura 3b.–SH en hombres y mujeres en función de 1 Pico de Fz máx, o 2 Picos de Fz máx. * = $p < 0.05$.

El hecho de haber relativizado al peso corporal las variables de fuerza, potencia e incrementos o pendientes de la fuerza y la potencia durante la batida está fundamentado en que numerosos estudios han encontrado relaciones entre el peso y la talla con los tests de condición física (15). Así, se han relacionado positivamente estas variables con la potencia mecánica del salto vertical (20), de una carrera en la escalera de Margaria-Kalamen (5), y en tests de fuerza isocinética de rodilla y tobillo, independientemente de las velocidades angulares a los que estos se ejecutaban (15). En muchos de estos casos, como ya se ha comentado, se enmascaran las verdaderas relaciones entre las características antropométricas y la condición física; circunstancia que hemos observado al analizar las correlaciones de las variables de nuestro estudio expresadas en valores absolutos, ya que, emergen un gran número de nuevas variables que se relacionan con el salto y otras con relaciones más intensas. No obstante, según Hay y Reid (1988), la talla y la altura trocantérea deberían determinar la longitud del salto, porque posibilitan una mayor altura de salida del centro de gravedad. En nuestro trabajo, estas relaciones no se han encontrado, lo cual puede ser debido a la homogeneidad en las características antropométricas de la muestra, por lo que las relaciones encontradas entre las variables cinéticas de la batida y la longitud del salto no se ven afectadas por la antropometría de los sujetos estudiados.

Por último, las correlaciones encontradas entre el SH y el salto vertical ABK han sido de altamente significativas en los hombres ($r = 0.68$ y $p < 0.001$) y las mujeres ($r = 0.69$ y $p < 0.001$) tratados como grupos independientes, y mucho mayores cuando se han analizado conjuntamente ($r = 0.88$ y $p < 0.001$), lo que coincide con anteriores trabajos llevados a cabo con deportistas en los que obteníamos resultados similares (11). Parece ser que el salto vertical y horizontal podrían evaluar una misma cualidad, a pesar de que algunos autores afirman que “*existen indicios que demuestran que pudiera no ser un buen indicador de una cualidad física como la fuerza explosiva del tren inferior*” (3).

CONCLUSIONES

- 1) Las fuerzas producidas durante la batida del SH (Fz, Fx y Fr), así como las velocidades y potencias provocadas por las mismas, son variables determinantes de la longitud del salto.
- 2) El hecho de que las fuerzas de la batida se relacionen con el SH, y que las relaciones de éste con el salto vertical sean elevadas, nos lleva a afirmar que es un método válido para evaluar la fuerza explosiva del tren inferior; especialmente en poblaciones con características antropométricas homogéneas o en test–retest de un mismo sujeto.

3) Posteriores trabajos con una metodología similar, llevados a cabo en personas familiarizadas con este protocolo de salto deben profundizar en las manifestaciones temporales de la velocidad y la potencia, así como obtener valores de referencia que permitan valorar y corregir la técnica de batida del SH.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguado, X., Izquierdo, M., Montesinos, J.L. (1997). Kinematic and Kinetic factors related to the standing long jump performance. *J Human Mov Studies*, 32: 156-169
2. Aguado, X., Grande, I., Izquierdo, M., López, J.L., Mendoza, F., Meana, M. (2000). Estudio biomecánico de la batida del salto horizontal a pies juntos desde parado. Cinética de saltos máximos y submáximos. *Archivos de Medicina del Deporte*, 17 (76): 109-116
3. Aguado, X., Izquierdo, M. (1995). La detente horizontal. Estudio cinemático y cinético de 64 casos en las pruebas de ingreso en el I.N.E.F. de León. *Archivos de Medicina del Deporte* 12(46): 93-104
4. Atkinson, G., Nevill, A.M. (2001). Selected issues in the design and analysis of sport performance research. *J Sport Sci*, 19: 811-827
5. Beckenholdt, S.E., Mayhew, J.L. (1983). Specificity among anaerobic power test in male athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 23(3): 326-332
6. Consejo de Europa. Eurofit (1989). Test europeo de aptitud física. Comité para el Desarrollo del Deporte, Consejo de Europa. *Rev. Inv. Doc. Cienc. Ed. Fis. Dep.* 12(13): 8-49
7. Davies, B.N., Jones, K.G. (1993). An analysis of the performance of male students in the vertical and standing long jump tests and the contribution of arm swinging. *J Human Mov Stud*, 23 (1): 25-38
8. Dowling, J., Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *J Appl Biomech*, 9 (2): 95-110
9. Esparza F. (1993). Manual de cineantropometría. Pamplona. GREC, FEMEDE.
10. García, J., Peleteiro, J., Rodríguez-Marroyo, J.A., Morante, J.C., Villa, J.G. (2003) Validación biomecánica de un método para estimar la altura de salto a partir del tiempo de vuelo. *Archivos de Medicina del Deporte*, 20 (93): 28-34
11. García, J., Villa, J.G., Morante, J.C. (1999) Especificidad de los tests indirectos que valoran la potencia anaeróbica. *Archivos de Medicina del Deporte* 16(Sup. esp.): 580-581
12. Gutierrez, M. (1999). Biomecánica deportiva. Madrid. Ed. Síntesis.
13. Hay, J.G., Reid, J.G. (1988). Anatomy, mechanics and human motion (second edition). New Jersey. Ed. Prentice-Hall.
14. López, J.L., Grande, I., Meana, M., Aguado, X. (1999) Análisis de la reproducibilidad en tres tests de salto con plataforma de fuerzas y contactos. *Apunts* 58: 62-66
15. Manning, J.M., Dooly, C., Perrin, D.H. (1988). Factor analysis of various anaerobic power test. *J Sports Med Phys Fitness*, 28 (2): 138-144
16. Mendoza, L., Shöllhorn, W. (1993) Training of the start technique with biomechanical feedback. *J Sports Sci*, 11 (1): 25-29
17. Péres, G., Vandewalle, H., Monod, H. (1988). Comparaison de trois méthodes de mesure de puissance maximale anaerobie des membres inférieurs. *Cinesilogie* 27(121): 241-249
18. Tabernero, B. (1999). Valoración funcional y cambios en el nivel de condición física relacionada con la salud en mujeres participantes en diferentes programas específicos de ejercicio físico del municipio de León. Tesis Doctoral. Universidad de León.
19. Vargas, A. (1997). El salto horizontal a pies juntos desde parado, en educación infantil y primaria. Tesina de Licenciatura. Universidad de León.
20. Viitasalo, J.T., Rahkila, P., Oesterback, L., Alen, M. (1992). Vertical jumping height and horizontal overhead throwing velocity in young male athletes. *J Sports Sci*, 10(5): 401-413
21. Vittori, C. (1990). El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *R&D*, 4 (3): 2-8
22. Yeadon, M.R., Challis, J.H. (1994). The future of performance-related sports biomechanics research. *J Sports Sci*, 12 (1): 3-32