

Análisis de la reproducibilidad en tres tests de salto con plataforma de fuerzas y de contactos

José Luis López Elvira
Ignacio Grande Rodríguez
Marta Meana Riera

Licenciados en Ciencias de la Actividad Física y becarios de investigación del laboratorio de Biomecánica del INEF de Castilla y León

Xavier Aguado Jódar

Profesor de Biomecánica en el INEF de Castilla y León

Palabras clave

biomecánica, saltos, potencia, reproducibilidad, plataforma de fuerzas, plataforma de contactos

Abstract

The object of this work is to know the recurrence that is produced in measuring power in the jump test, both in the test-retest and day-by-day and in the use of different measuring systems (force platform and contact platform). Due to the fact that our intention was to measure recurrence, we took into account and controlled a large number of factors which in some way could influence the results. We carried out an experimental design, in which we passed, in two days with a weeks interval between, the jump tests: without countermovement (SJ), with countermovement (CMJ), and horizontal with feet together (SLJ) on twelve male, PE students. We proved how the recurrence in the test-retest was good in the three tests we studied (SJ $r=0.89$ and 0.98 ; CMJ $r=0.86$ and 0.99 ; SLJ $r=0.97$ and 0.99 ; $p<0.001$); while in the day-to-day tests, although the values are also good, they are not quite so good (SJ $r=0.76$; CMJ $r=0.78$; SLJ $r=0.75$; $p<0.05$). On the other hand, the two systems of measurement we analysed measure in a similar way, however we have found differences of up to 7 cm, so, before beginning to evaluate a sportsman longitudinally, we will have to decide on a system and continue with it to the end. To sum up, whenever one wants to measure the power of a sportsman by means of jump tests, we will have to pay special attention and control all the external factors which are liable to modification and capable, in turn, of influencing the results.

Resumen

El propósito del presente trabajo es conocer la reproducibilidad que presenta la medición de potencia en los tests de salto, tanto en el test-retest y día a día, como en el empleo de diferentes sistemas de medición (la plataforma de fuerzas y la plataforma de contactos). Debido a que lo que se pretendió fue medir la reproducibilidad, se tuvieron en cuenta y se controlaron un gran número de factores que de algún modo podían influir en la consecución de los resultados. Se llevó a cabo un diseño experimental en el que se pasaron, en dos días con una semana de separación entre ellos, los tests de salto: sin contramovimiento (SJ), con contramovimiento (CMJ) y horizontal a pies juntos (SLJ), a 12 sujetos varones estudiantes de educación física. Se ha comprobado cómo la reproducibilidad en el test-retest es buena en las tres pruebas estudiadas (SJ $r = 0,89$ y $0,98$; CMJ $r = 0,86$ y $0,99$; SLJ $r = 0,97$ y $0,99$; $p < 0,001$), mientras que en el día a día, si bien los valores también son buenos, no lo son tanto (SJ $r = 0,76$; CMJ $r = 0,78$; SLJ $r = 0,75$; $p < 0,05$). Por otra parte, los dos sistemas de medición analizados miden de forma semejante, sin embargo se han encontrado diferencias de hasta 7 cm, con lo cual, antes de empezar a evaluar longitudinalmente a un deportista, habrá que decantarse por un sistema y continuar con él hasta el final.

En conclusión, siempre que se desee realizar mediciones de potencia en un deportista mediante tests de saltos, habrá que prestar atención y controlar todos los factores externos susceptibles de ser modificados y capaces, a su vez, de influir en los resultados.

Introducción

Desde hace años, los tests de salto se han venido conformando como una de las mejores pruebas de evaluación de la potencia del tren inferior. Su sencillez, tanto en el material empleado (una simple cinta métrica) como en la ejecución de cara al sujeto evaluado, hacen que se haya extendido su aplicación y, hoy en día, figure entre las baterías de tests de evaluación de la condición física más conocidas. Sin embargo, a pesar de su sencillez aparente, estas pruebas presentan ciertos problemas. El presente trabajo muestra la gran meticulosidad que requiere el trabajo de campo, ya que, a la hora de pasar los tests, cualquier despiste en principio inapreciable, puede hacer que los resultados se contaminen.

Con el fin de determinar estos errores, se llevó a cabo un diseño experimental con el que se pretendía evaluar la reproducibilidad de los tests de salto, tanto de sus características intrínsecas (en el test-retest y en el día a día), como de las extrínsecas, es decir, las referentes al aparato de medición que se emplea; en este caso, entre una plataforma de fuerzas y una plataforma de contactos. Los tests de salto escogidos fueron el salto sin contramovimiento (SJ), el salto con contramovimiento (CMJ) y el salto horizontal a pies juntos (SLJ).

A pesar de que con la plataforma de fuerzas se obtienen diversas variables del salto, para calcular la reproducibilidad se tomó únicamente el valor del tiempo de vuelo, ya que lo que interesa en este estudio es conocer cuánto se salta y no si se hace de un modo u otro. Con la plataforma de fuerzas se calculó el tiempo de vuelo por medio de un programa informático llamado *Potencia* (López, 1998), que es capaz de calcular diversas variables a partir de la curva fuerza-tiempo, entre ellas el tiempo de vuelo, por medio del conteo directo sobre los registros de fuerza de los milisegundos que el sujeto está en el aire (cuando la fuerza registrada sobre la plataforma es cero).

Metodología

Dado que lo que se pretende es medir la reproducibilidad de los tests, es necesario poner especial énfasis en la elaboración de los protocolos, de manera que queden controlados todos los factores externos, hasta el punto de tener la seguridad de que aspectos tan aparentemente indiferentes como la luz ambiental, la temperatura o el calentamiento no van a influir en los resultados obtenidos.

Diseño experimental

El diseño experimental se dividió en 4 partes, como se puede apreciar en la Figura 1. En primer lugar se escogieron individuos que, cumpliendo las características antropométricas exigidas con el fin de homoge-

neizar la población (se presentan más adelante), participaran de forma voluntaria siguiendo las normas sobre experimentación con personas y animales. Una vez seleccionados los sujetos, se les tomaron medidas antropométricas de talla y peso. Posteriormente, se les reunió a todos en un día de *entrenamiento* para explicarles las pruebas que se les iba a pasar, y se dejó que ensayaran lo necesario hasta que las aprendieran, todo ello bajo la supervisión del investigador. A partir de ahí, se citó a cada uno en un día y a una hora concreta, con la condición de que pudieran volver una semana después.

Muestra seleccionada

Como en el resto de aspectos del trabajo, se buscó estandarizar al máximo las características de la muestra. Para ello, en el momento de pedir voluntarios, se impusieron unas condiciones con un perfil concreto: de sexo masculino, edad entre 19 y 24 años, estatura entre 1,70 y 1,80 m, no sedentarios y no practicantes de deporte federado, es decir, que no realizaran una actividad física que pudiera ser considerada entrenamiento. Si bien es imposible conseguir sujetos idénticos, caso que tampoco sería adecuado ya que la validez de la prueba quedaría reducida a las características de esa muestra, se puede conseguir disminuir la disparidad por medio de una selección apropiada, para homogeneizar las condiciones del experimento.

Se tomó una muestra de 12 sujetos varones estudiantes de educación física. En la Tabla 1 se pueden ver las características de la muestra.

Material

Este apartado se ha dividido en tres puntos, clasificando el material según la fase del estudio en que se utilizó, como se describe a continuación.

Mediciones antropométricas:

- Cinta antropométrica de sensibilidad 1 mm.
- Báscula DETECTO con sensibilidad 200 g.

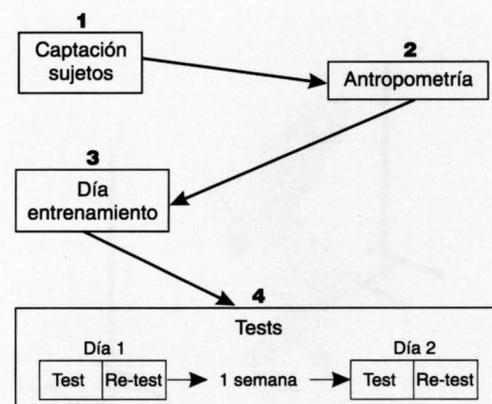


Figura 1. Esquema del diseño experimental seguido en el estudio.

	EDAD	ESTATURA	PESO
\bar{x}	21,6	174,70	70,33
SD	1,65	4,24	5,46

Tabla 1. Estadística descriptiva de las características de la población seleccionada. La edad está expresada en años, la estatura en cm y el peso en kg ($n = 12$).

Realización de los tests:

- Plataforma dinamométrica con tecnología de captación extensiométrica Dinascan 600 ME calibrada según el método estandarizado PDINCO1-00, obteniéndose un resultado menor del 2% de variación en las componentes vertical y horizontal. La reproducibilidad fue calculada con mediciones estáticas desde 25 kg hasta 350 kg. El error relativo fue < 1,75% con una diferencia relativa < 1,20%. La plataforma fue asentada encima de una placa metálica pesada para evitar ruidos externos (Sebastián y cols., 1989; Aguado e Izquierdo, 1993).
- Ordenador PC Pentium 120 Mhz con 16 Mb de RAM.
- Software propio de las plataformas Dinascan, v. 8.0
- Cicloergómetro de freno electromagnético Ergo-Line D-7474 BITE.
- Goniómetro Sulindal con sensibilidad de un grado.

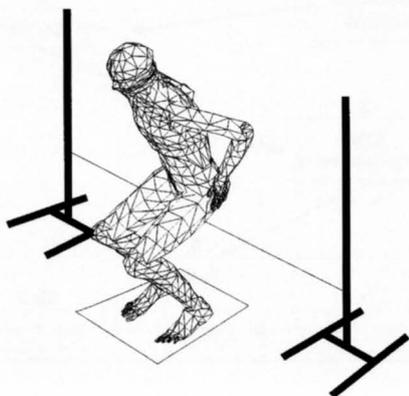


Figura 2. Representación del sistema empleado para controlar los 90°.

- 2 soportes de red de bádminton con cinta métrica adherida al cuerpo.
- Goma elástica para colocar entre los soportes.
- Plataforma de contactos Ergo Jump Bosco System.

Tratamiento de datos:

- Programa informático *Potencia*. Este programa es capaz de extraer variables representativas de los saltos (de fuerza, de velocidad, de impulsos, de potencia y temporales) a partir de los registros de fuerza vertical y horizontal que aportan las plataformas.
- Hoja de cálculo Microsoft Excel v. 7.0.
- Statistica for Windows v. 4.5.

Protocolo

El protocolo fue cuidadosamente elaborado y seguido con cada sujeto, de forma que se controló el proceso al mínimo detalle para asegurarse de que las condiciones no variaran de un sujeto a otro, ni dentro de un mismo sujeto del primer al segundo día. Antes de empezar a pasar los tests se realizaba un calentamiento de 12 min de duración, igual para todos los participantes y supervisado por el investigador. Era realizado

en el mismo lugar donde se desarrollaron las pruebas (el Laboratorio de Biomecánica del INEF de Castilla y León) para que los tests fueran pasados inmediatamente después. El calentamiento consistió en 5 min de pedaleo sobre un cicloergómetro con una potencia regulada a 50 W, después 10 saltos máximos consecutivos y estiramientos de los grandes grupos musculares de las extremidades inferiores.

Una vez terminado el calentamiento se procedía a la realización de los tres tests en el siguiente orden: SJ, CMJ y SLJ.

El descanso entre intentos no debe ser largo sino más bien lo contrario (Bosco, 1994), de 15 s entre cada intento, que es el tiempo que se tarda en guardar el fichero en el ordenador, y de 1 a 2 minutos entre test y test. Después de cada intento se motivaba al sujeto con palabras de ánimo ("lo has hecho bien, pero creo que en el siguiente intento lo puedes hacer aún mejor").

Se permitió realizar dos intentos de calentamiento antes de empezar la medición de cada test. También se dieron instrucciones para que después del salto cayeran en el mismo lugar y posición del despegue, con el fin de evitar errores en la medición del tiempo de vuelo.

En las mediciones de los saltos verticales se colocó la plataforma de contactos encima de la de fuerzas, con lo cual se consiguió que el tiempo medido con ambas plataformas fuera el mismo y pudieran ser comparadas. Las dos plataformas fueron ajustadas a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, con lo cual se obtuvo una sensibilidad temporal de milisegundo.

Se determinó, en el SJ y el CMJ, fijar la angulación de las rodillas a 90° (Bosco y cols., 1983) para asegurarse de que las condiciones eran idénticas en todos los ensayos, ya que según estudios anteriores de otros autores, se demuestra que la producción de fuerza varía con el ángulo de la articulación de la rodilla (Tihanyi y cols., 1982; Jaric y cols., 1989; Locatelli, 1990). También se limitó la acción de la parte superior del cuerpo manteniendo el tronco erguido y las manos en la cintura. Sin embargo en el SLJ, siguiendo el protocolo de la Batería Eurofit

(1983), se permitió realizar movimientos de brazos y tronco mientras no se produjeran movimientos de toma de impulso con los pies hasta el momento del despegue. Para controlar los 90° se construyó un pequeño sistema de referencia formado por dos barras laterales y una goma elástica sujeta entre ambas (Figura 2). Se colocaba al sujeto en la plataforma con los talones a la altura de una línea marcada y en la posición de semi-squat con las rodillas flexionadas hasta formar 90° y los talones apoyados en el suelo. En ese momento se ajustaba la goma elástica a la altura de los glúteos de forma que ya quedaba marcada para los saltos. Respecto al SLJ, se realizaron las batidas sobre la plataforma de fuerzas y la distancia alcanzada era medida con cinta métrica.

Tratamiento de datos

En primer lugar se empleó el programa *Potencia*, con el cual se extrajeron los valores del tiempo de vuelo de todos los saltos. Se consideraron como variables de estudio el tiempo de vuelo en el SJ y CMJ (los saltos verticales) y la distancia alcanzada en el SLJ, por ser éstas las que determinan el rendimiento. En el estudio de la reproducibilidad se analizó el error metódico, el coeficiente de variación en función del error metódico y el coeficiente de correlación de Pearson. También se aplicó la prueba de la T de comparación de medias en el cálculo de la reproducibilidad entre la plataforma de contactos y la plataforma de fuerzas.

Resultados

Se presentan a continuación los resultados obtenidos referentes a la reproducibilidad en el test-retest (Tabla 2) y en el día a día (Tabla 3).

Respecto a la comparación entre la plataforma de fuerzas y de contactos, se han hecho los cálculos únicamente con los dos saltos verticales, ya que en el salto horizontal no se puede utilizar la plataforma de contactos para medir la distancia alcanzada. En la Tabla 4 se observan los datos de la estadística descriptiva y en la Tabla 5 los de la reproducibilidad.

Discusión

En los tres tests se aprecia una alta reproducibilidad en el test-retest del primer y del segundo día por separado (SJ $r = 0,89-0,98$, $p < 0,001$; CMJ $r = 0,86-0,99$, $p > 0,001$; SLJ $r = 0,97-0,99$, $p < 0,001$). Los datos obtenidos se aproximan a los de Vitasalo (1985) en un estudio en el que se medía la reproducibilidad del test-retest en el SJ y el CMJ obteniendo correlaciones de 0,93 y 0,95 respectivamente. Si se observan más detenidamente los resultados del primer y segundo día y se comparan, se ve que en los tres tests de salto se produce una mejora en la reproducibilidad del segundo día respecto al primero. Esta mejora podría ser achacada al aprendizaje que se produce de un día a otro, a pesar de haber realizado previamente un entrenamiento de los tests para evitarlo. Sin embargo, en el salto horizontal la mejora es mínima, ya que se observa que la reproducibilidad es casi máxima en los 2 días. Lo que sugiere este hecho es que el salto horizontal, al ser un test más conocido y practicado por los sujetos, está más automatizado, y por lo tanto cada intento es realmente máximo. Es conocido que el salto horizontal está incluido en multitud de pruebas selectivas de acceso a diferentes organismos y que es frecuentemente realizado por el individuo a lo largo de su escolarización, a diferencia del CMJ y más aún del SJ. Así pues, a la luz de los resultados obtenidos, se puede decir que el test SLJ es el más reproducible de los tres tests de salto analizados, a pesar de lo criticado que ha sido por su complejidad técnica (Izquierdo y cols., 1994; Aguado e Izquierdo, 1995).

Respecto a la reproducibilidad en el día a día, como es de esperar, los coeficientes de correlación decaen, aunque siguen siendo buenos (SJ $r = 0,76$, $p = 0,004$; CMJ $r = 0,78$, $p = 0,015$; SLJ $r = 0,75$, $p = 0,004$), a la vez que los coeficientes de variación también empeoran ligeramente en los tres tests (SJ = 3,76%; CMJ = 3,03%; SLJ = 2,74%). Todo esto ocurre a pesar de haber tenido en cuenta el mayor número de condiciones externas posible. La explicación puede encontrarse en que hay factores que no llegan a ser controlados del todo, como son el estado anímico del sujeto, las horas

	SJ		CMJ		SLJ	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
Error metódico	0,013	0,006	0,011	0,004	0,03	0,01
Coef. variación (%)	2,45	1,14	1,83	0,68	1,17	0,55
Coef. correlación ($p < 0,001$)	0,89	0,98	0,86	0,99	0,97	0,99

Tabla 2. Resultados en la reproducibilidad del test-retest. El error metódico viene expresado en s en los dos saltos verticales (SJ y CMJ), y en m en el salto horizontal (SLJ).

desde la última comida, etc. y que afectan al resultado. Así pues, al realizar el seguimiento de deportistas por medio de tests de saltos, habrá que ser extremadamente riguroso con los protocolos, ya que sus propias características hacen que se produzcan ciertas diferencias en los resultados que podrían engañar en la evaluación del entrenamiento. En cuanto a la reproducibilidad entre la plataforma de fuerzas y la de contactos, se encontró una buena correlación en los dos tests verticales entre las dos plataformas;

	SJ	CMJ	SLJ
Error metódico	0,020	0,018	0,06
Coef. variación (%)	3,76	3,03	2,74
Coef. correlación ($p < 0,05$)	0,76	0,68	0,75

Tabla 3. Resultados de la reproducibilidad del día a día. El error metódico viene expresado en s (SJ y CMJ) y en m (SLJ).

	SJ			CMJ		
	PF	PC	PF-PC	PF	PC	PF-PC
Media	0,525 $p < 0,001$	0,518 $p < 0,001$	0,010	0,582 n.s.	0,576 n.s.	0,006
Desviación estándar	0,039	0,038	0,013	0,030	0,037	0,024
Máximo	0,580	0,574	0,021	0,638	0,651	0,050
Mínimo	0,457	0,451	-0,037	0,522	0,518	-0,046

Tabla 4. Resultados de la estadística descriptiva que comparan la plataforma de fuerzas (PF) con la plataforma de contactos (PC).

más elevada en el SJ, con una $r = 0,94$ ($p < 0,001$), frente a una $r = 0,76$ ($p < 0,001$) en el CMJ. Como se puede observar, en los dos tests los resultados son muy similares, sin embargo en el CMJ se produce una dispersión mayor. Los resultados se acercan a los presentados en estudios anteriores por otros autores (Virmavirta y cols., 1995) donde se encontraron correlaciones de 0,90 en el SJ y 0,66 en el CMJ. Analizando el coeficiente de variación

	SJ (n = 22)	CMJ (n = 21)
Error metódico	0,009	0,017
Coef. variación (%)	1,73	2,94
Coef. correlación ($p < 0,001$)	0,94	0,76

Tabla 5. Resultados del análisis de la reproducibilidad entre la plataforma de fuerzas y de contactos. El error metódico viene expresado en s.

del error metódico, se observa igualmente cómo en el CMJ el valor es más elevado, lo cual da idea de una menor constancia en las diferencias entre una plataforma y otra en este test. Se cree que la mayor dispersión del CMJ se debe al incremento de la amplitud del movimiento, a la vez que los tiempos de vuelo son mayores que en el SJ, con lo cual parece lógico pensar que, de haber diferencias en la medición del tiempo, éstas se manifiesten en mayor medida cuanto mayor sea la magnitud que miden. En este sentido, cabe esperar que si se realizaran los mismos cálculos con el test de Abalakov (con ayuda de los brazos) y del salto en caída (D)), en los que se alcanzan alturas de vuelo mayores, la dispersión de los resultados sería aun mayor.

Los valores medios de los tiempos de vuelo obtenidos con la plataforma de contactos son menores que los de la plataforma de fuerzas. Sin embargo las diferencias en las mediciones del tiempo no son constantes. Es decir, unas veces resulta mayor la medición de una plataforma y otras veces la de la otra. Si se atiende a la prueba de la T de comparación de medias, indica que en el CMJ no existen diferencias significativas, mientras que en el SJ las diferencias son significativas con una $p < 0,001$. Este dato puede llevar a engaño si se lee aisladamente ya que choca con los buenos valores anteriores del coeficiente de correlación y el error metódico. Lo que ocurre es que como la prueba de la T hace una comparación de medias, en el CMJ las diferencias medias entre las dos plataformas son menores que en el SJ; sin embargo como se puede ver con la correlación, la dispersión de puntos es mayor, con lo cual quedan compensados los valores positivos con los negativos de manera que al final resultan unas medias igualadas.

En principio los dos instrumentos miden de forma muy similar: la diferencia en altura entre las medias es solamente 8 mm en un salto de 41 cm. Sin embargo, llevándolo al extremo, si se toma la mayor diferencia entre las dos plataformas, que fue de 0,05 s, resulta una diferencia de 7 cm en el mismo salto de 41 cm. Este error puede suponer la mejora de un deportista después de 6 meses de entrenamiento específico. De

ello se concluye que, a la hora de hacer el seguimiento de un deportista, una vez elegido uno u otro sistema, las mediciones deberían realizarse siempre con el mismo instrumento de cara a minimizar en lo posible los errores producidos.

Conclusiones

- La reproducibilidad test-retest aporta resultados muy buenos en las tres pruebas de salto analizadas. En el día a día los valores calculados son un poco peores, aun habiendo controlado los protocolos al máximo.
- Al pasar los tests durante el seguimiento de un deportista habrá que ser muy cuidadoso con los protocolos. Deberán ser pasados con meticulosidad, ya que cualquier factor externo puede alterar los resultados considerablemente, lo que hace que atribuyamos mejoras o empeoramientos al fruto del entrenamiento cuando en realidad son debidas a errores metodológicos.
- A la hora de pasar tests que evalúen la evolución de un deportista, se deberá elegir adecuadamente el tipo de prueba, ya que el hecho de tener o no tener automatizado el gesto influirá en los resultados. Si se escoge un test desconocido para el deportista, cuanto más avanzado se esté en el proceso de evaluación (a lo largo de la temporada), mejores resultados obtendrá como consecuencia del aprendizaje.
- Teniendo en cuenta la reproducibilidad, el SLJ puede ser considerado el mejor test a pesar de lo criticado que ha sido por su alta complejidad técnica. Al tratarse de un test más conocido y practicado por los sujetos (su uso se encuentra muy difundido por su escasa necesidad de medios materiales), es más fácil que aporte mejores resultados en el test-retest y el día a día.

Bibliografía

AGUADO, X. e IZQUIERDO, M. (1993). "Instalación de dos Plataformas de Fuerza en el INEF de Castilla y León para Análisis de la Marcha y Gestos Deportivos", *Libro de comunicados*,

Primer Congreso de Ciencias de la Educación Física y recreación, n.º 1, p. 25.

- (1995). "La detente horizontal. Estudio cinemático y cinético de 64 casos en las pruebas de ingreso en el INEF de León", *Archivos de Medicina del Deporte*, vol. XII, n.º 46, pp. 93-104.
- BOSCO, C.; LUHTANEN, P. y KOMI, P.K. (1983). "A simple method for measurement of mechanical power in jumping", *European Journal of Applied Physiology*, n.º 50, pp. 273-282.
- BOSCO, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*, Paidotribo, Barcelona.
- EUROFIT (1983). "Une batterie européenne de test pour l'évaluation de l'aptitude motrice", Lovaina, CDDS.
- IZQUIERDO, M.; GONZÁLEZ J.L. e AGUADO, X. (1994). "Análisis biomecánico de la detente horizontal. Consideraciones respecto a su uso como test de fuerza del tren inferior", *Perspectivas de la Actividad Física y el Deporte*, n.º 15, pp. 2-8.
- JARIC, S.; RISTANOVIC, D. y CORCOS, D. M. (1989). "The relationship between muscle kinetic parameters and kinematic variables in a complex movement", *European Journal of Applied Physiology*, n.º 59, pp. 370-376.
- LOCATELLI, E. (1990). "La fuerza". *Atletica Leggera*. Traducción de Miguel Vélez. Sant Cugat.
- LÓPEZ, J. L. (1998). *Desarrollo de un nuevo software para el cálculo de la potencia mecánica en el salto con plataforma de fuerzas. Estudio de la reproducibilidad de los valores obtenidos en diversos tests de saltos*, Tesina Universidad de León.
- SEBASTIÁN, C.; NAVARRO, E. y GONZÁLEZ, E. (1989). "Plataforma de fuerzas. Un ejemplo práctico de su utilización en el análisis de las técnicas deportivas", *Apunts d'Educació Física i Esports*, n.º 15, p. 29.
- TIHANYI, J.; APOR, P. y PETREKANITS, M. (1982). "Force - Velocity - Power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles", *European Journal of Applied Physiology*, n.º 48, p. 331.
- VITASALO, J. T. (1985). "Measurement of force-velocity characteristics for sportsmen in field conditions", *Biomechanics IX-A*, p. 96.
- VIRMAVIRTA, M.; AVELA, J. y KOMI, P. (1995). "A comparison of different methods to determine the take-off velocity in vertical jumps", *Abstracts of the International Society of Biomechanics, XVth Congress, Jyväskylä*, n.º 1, p. 972.