

EL TIPO DE PLATAFORMA DE CONTACTO INFLUYE EN EL REGISTRO DE LA ALTURA DE SALTO VERTICAL ESTIMADA A PARTIR DEL TIEMPO DE VUELO

García- López, J.; Rodríguez-Marroyo, J. A.; Pernía, R.; Ávila, M. C.;
Villa, J. G.

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

RESUMEN

Registrar el tiempo de vuelo (Tv) en una plataforma de contacto es una metodología muy utilizada para estimar la altura del salto vertical. Los objetivos del trabajo son: a-analizar si el tipo de plataforma de contacto influye en el Tv, y b-comprobar la validez y fiabilidad de una nueva plataforma de contacto de tipo optoelectrónico. 89 estudiantes realizaron 3 saltos verticales máximos registrados simultáneamente en una Plataforma de Fuerzas (PF) y dos plataformas de contacto: ErgoJump Plus (EJ) y SportJump System Pro (SJ), en los sentidos longitudinal y transversal respecto a PF. EJ subestimó el Tv en 50.8 ms, mientras que SJ lo subestimó en 10.6 ms. La altura del salto no influyó en estas diferencias, aunque fueron mayores para EJ cuando se saltó en sentido transversal. La relación PF-EJ ($r=0.6597$) fue menos alta que PF-SJ ($r=0.9992$). El coeficiente de variación fue mayor en EJ ($6.61\pm 4.81\%$) que en SJ ($1.21\pm 0.81\%$) y PF ($1.19\pm 0.78\%$). El tipo de plataforma de contacto (optoelectrónica vs. mecánica) influye sustancialmente en el Tv y la altura del salto vertical, por lo que estos dispositivos deberían ser validados antes de ser utilizados en estudios científicos. El nuevo sistema SJ que incorpora tecnología láser, ha resultado válido y fiable para medir saltos verticales.

Palabras clave: biomecánica, instrumentación, salto vertical, plataforma de contacto.

ABSTRACT

Measuring flight time (Ft) on a contact mat is a common methodology to estimate vertical jump height. The aims of this study were: a-to analyze the influence of the contact mat technology on Ft, and b-to verify the validity and reliability of a new optoelectronic contact mat. Eighty-nine physical students performed 3 maximal jumps which were simultaneously registered by one force plate (FP) and two contact mats: ErgoJump Plus (EJ) and SportJump System Pro (SJ). They which were performed in a randomized order in the directions longitudinal and transversal with respect to PF. EJ underestimated Ft in 50.8 ms, while SJ underestimated it in 10.6 ms. Jump height did not affect these differences, although they increased when the jump direction was transversal in EJ. Correlation PF-EJ ($r=0.6597$) was lower than PF-SJ one ($r=0.9992$). Coefficient of variation of EJ ($6.61\pm 4.81\%$) was higher than SJ ($1.21\pm 0.81\%$) and PF ($1.19\pm 0.78\%$) ones. The contact mat technology (optoelectronics vs. mechanics) had a great influence on both Ft and vertical jump height; therefore these instruments should be validated before using them in scientific studies. The new system SJ that use laser technology, was valid and reliable to measure vertical jumps.

Key words: biomechanics, instrumentation, vertical jump, contact mat.

Correspondencia:

Juan García-López
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
C/ Campus de Vegazana, s/n
juan.garcia@unileon.es

Fecha de recepción: 15/09/2008

Fecha de aceptación: 28/11/2008

INTRODUCCIÓN

El salto vertical es un protocolo muy utilizado para la valoración de la fuerza explosiva o potencia de la musculatura extensora de la extremidad inferior en humanos (Villa y García, 2003). Representa una metodología aplicada en multitud de estudios longitudinales que valoran los efectos de, por ejemplo, diferentes programas de entrenamiento (Impellizeri et al., 2008), o la fatiga inducida por el esfuerzo físico (Girard et al., 2006). También forma parte de estudios transversales, meta-analíticos y de revisión, que comparan los saltos de deportistas de diferentes modalidades deportivas (Sleivert et al., 1995), o diferente nivel de rendimiento en una misma modalidad deportiva (Cometti et al., 2001; Vaquera et al., 2002). Adicionalmente, numerosas baterías de tests que relacionan la condición física con la salud incluyen, entre sus protocolos, el salto vertical (Taberner et al., 2000; Ruiz et al., 2006).

Existen tres metodologías básicas para medir la altura del salto vertical, las cuales aparecen extensamente desarrolladas en estudios previos (García-López et al., 2003 y 2004). Básicamente consisten y presentan las siguientes ventajas o inconvenientes: a-Integración numérica, que requiere del uso de plataformas de fuerzas, y es considerado como el método directo o de referencia para obtener la altura del salto, aunque su principal inconveniente es que requiere del uso de material sofisticado. b-Diferencia de marcas, que requiere de distintos artilugios para realizar marcas con las partes del cuerpo (ej. un sistema de varillas en el Test de Sargent, o un cinturón en el Test de Abalakov), siendo difícil la comparación de los resultados entre diferentes tests que utilizan esta misma metodología, ya que dependen de la zona del cuerpo con la que se marque (Klavora, 2000). c-Tiempo de vuelo, que requiere del uso de plataformas de contacto mecánicas (García-López et al., 2005) u optoelectricas (Impellizeri et al., 2008). El tiempo de vuelo y la diferencia de marcas son los métodos más utilizados fuera del laboratorio, porque requieren de materiales sencillos y poco costosos (Aragon-Vargas, 2000; Klavora, 2000). La principal ventaja del tiempo de vuelo sobre la diferencia de marcas es que proporciona una medida más objetiva de la altura del salto (Klavora, 2000), además de ser un procedimiento más válido y fiable (Aragón-Vargas, 2000).

El amplio uso del método de tiempo de vuelo y el diseño de diferentes plataformas de contacto contrasta con la escasez de estudios específicos encaminados a la validación de estos dispositivos. Diversos trabajos han evidenciado que con este método se registra sistemáticamente más altura del salto que con la integración numérica (Hatze, 1998; Kibele, 1998; Baca, 1999). Estas diferencias son debidas no sólo a que los ángulos del tobillo, la rodilla y la cadera durante el despegue presenten una mayor extensión que en el aterrizaje

(Hatze, 1998; Kibele, 1998; Baca, 1999), sino también a que es necesaria una determinada presión para activar el circuito mecánico, que depende en cierta medida de la masa de los sujetos que saltan (García-López et al., 2005). Por otro lado, con relación al uso de plataformas de contacto optoeléctricas para registrar tiempos de vuelo, todavía hoy desconocemos cuál es el efecto de utilizar este tipo de dispositivos, a pesar de que su utilización se ha visto incrementada durante la última década, formando parte de la metodología de multitud de estudios científicos (Dal Monte et al., 2002; Maffiuletti et al., 2002; Girard et al., 2005 y 2006; Lafortuna et al., 2005; Lehance et al., 2005; Marginson et al., 2005; Tessitore et al., 2005, 2007a, 2007b y 2007c; Ruiz et al., 2006; Artero et al., 2007; Rampinini et al., 2007; Bertucci et al., 2008; Buchheit et al., 2008; Impellizzeri et al., 2008; Sartorio et al., 2008). Es probable que estos dispositivos optoeléctricos subestimen el tiempo de vuelo del salto, debido a que deben de colocarse ligeramente elevados sobre el suelo, como ya han indicado algunos estudios en los que han sido empleados para medir los tiempos de apoyo y de vuelo en la carrera (Viitasalo et al., 1997).

Por tanto, la existencia de una cierta variedad de plataformas que incorporan diferentes tecnologías para registrar los tiempos de vuelo en el salto, y su frecuente utilización en estudios de carácter científico, hace necesaria la comprobación de su validez y fiabilidad, con el fin de procurar un óptima interpretación de los resultados de cada investigación (Zatsiorsky y Fortney, 1993).

Los objetivos del presente estudio son: 1-Analizar la influencia de utilizar plataformas de contacto optoeléctricas (Ergo Jump Plus y SportJump System Pro) en el tiempo de vuelo del salto vertical, y 2-Comprobar la validez y fiabilidad de la tecnología láser empleada en una nueva plataforma de contacto optoeléctrica (SportJump System Pro) durante el registro del salto vertical.

MÉTODO

Participantes

Participaron 89 estudiantes de educación física (Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte), de los cuales 62 fueron hombres (20.5±1.3 años, 178.0±5.0 cm, 76.7±6.4 kg) y 27 mujeres (20.6±1.5 años, 163.0±4.5 cm, 58.9±4.8 kg). Todos ellos tenían un buen estado de salud que les permitía realizar saltos verticales máximos; fueron informados de los objetivos del estudio y dieron su consentimiento por escrito. El protocolo de valoración se diseñó atendiendo a los criterios de la Conferencia de Helsinki para la investigación con humanos, y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de León.

Diseño Experimental

La toma de datos se llevó a cabo durante 12 días (de lunes a jueves durante 3 semanas consecutivas), valorando un total de 10 sujetos/día, que fueron citados en el Laboratorio en grupos de 5 sujetos/hora, en la misma franja horaria (entre las 18:00-20:00 h). Todos ellos realizaron un calentamiento individual, de manera que les permitiera ejecutar saltos verticales a la máxima intensidad. Durante el calentamiento, y antes de colocarse en la Plataforma de Fuerzas (PF), los estudiantes podían realizar ensayos de prueba sobre una superficie de salto similar, dispuesta a tal efecto en el Laboratorio. Los saltos se realizaron aleatoriamente (días pares e impares de valoración) en los sentidos longitudinal y transversal respecto a la superficie de la Plataforma de Fuerzas, considerando longitudinal la colocación de los pies en la misma dirección que el eje mayor de la misma, y transversal, lo contrario (Figura 1). Una vez que los estudiantes finalizaban el calentamiento, procedían a realizar 3 saltos verticales máximos sobre la Plataforma de Fuerzas, en la misma dirección que habían ensayado. La técnica de ejecución de los saltos verticales fue con contramovimiento (CMJ), utilizando una flexión libre de rodillas, tal y como se ha referido en estudios previos (García-López et al., 2003 y 2005). Sobre la zona perimetral de la Plataforma de Fuerzas se colocaron dos plataformas de contacto optoeléctricas: ErgoJump Plus (EJ) y SportJump System Pro (SJ), de manera que el tiempo de vuelo era registrado simultáneamente en los tres sistemas, considerando la Plataforma de Fuerzas (PF) como el método de referencia (Figura 1). La recuperación entre saltos fue aproximadamente de 60 s, tiempo suficiente para que los estudiantes pudieran realizar otro salto máximo y para anotar el tiempo de vuelo registrado en el ErgoJump Plus y el SportJump System Pro. Los valores de tiempo de vuelo en Plataforma de Fuerzas se analizaron con posterioridad al ensayo, almacenando durante la prueba un código de salto que fue asignado a cada estudiante y repetición.

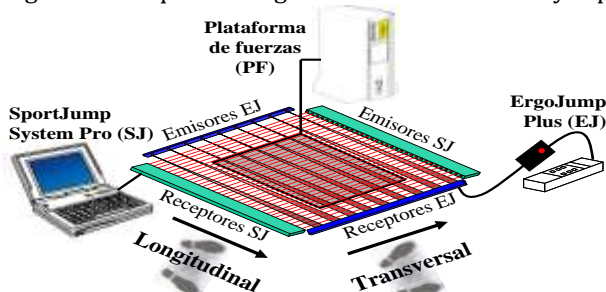


FIGURA 1. Esquema de la colocación de los tres sistemas utilizados para medir simultáneamente el tiempo de vuelo durante los saltos verticales: PF (Plataforma de Fuerzas); EJ (*ErgoJump Plus*); SJ (*SportJump System Pro*). Los saltos fueron realizados aleatoriamente en las direcciones longitudinal y transversal, respecto a PF

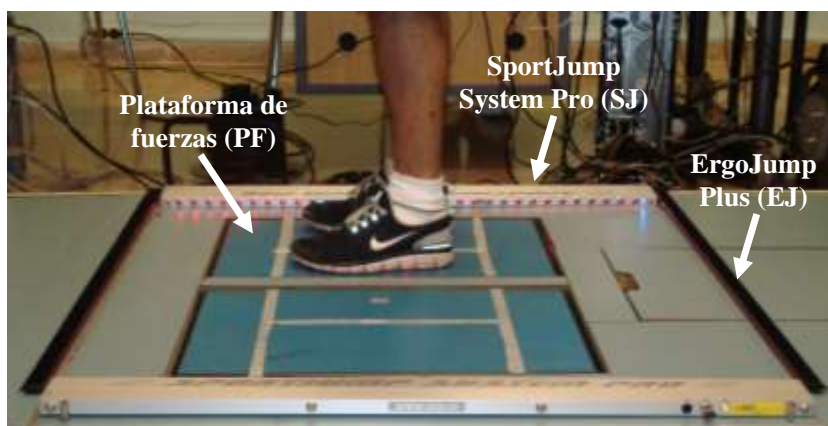


Figura 2. Imagen real de las características y colocación de los tres sistemas utilizados para medir el tiempo de vuelo durante los saltos verticales

Instrumentos

- **Plataforma de Fuerza(PF)**

Se utilizó una Plataforma de Fuerzas extensiométrica triaxial (Figura 2), de dimensiones 0.60×0.40 m (Dinascan 600M®, Instituto de Biomecánica de Valencia, España), similar a la empleada en estudios previos (García-López et al., 2005). Esta plataforma tiene una sensibilidad 0.1 N en el registro de fuerza vertical, y una frecuencia de muestreo máxima de 2000 Hz. La plataforma fue calibrada antes del inicio del estudio, siguiendo las instrucciones del fabricante, utilizando para ello un rango de pesos conocidos que eran colocados encima de la misma. Para el registro de los saltos en los ensayos se seleccionó una precisión temporal de 1000 Hz, similar a la de estudios anteriores sobre salto vertical (Kibele, 1998; Baca, 1999), y un tiempo de registro de 5 s, de manera que se indicaba al ejecutante cuándo podía iniciar el salto, comenzando libremente a partir de ese momento. Antes de cada ensayo se realizaba una lectura de cero de la plataforma. Se consideró tiempo de vuelo en la Plataforma de Fuerzas aquel en el que el valor de fuerza vertical se encontraba por debajo del umbral de 5N, tal y como se ha recomendado en estudios previos (Kibele, 1998; García-López et al., 2005). El análisis de los datos se llevó a cabo con el software Dinascan-IBV, no aplicando filtros a los datos de fuerza vertical, también en consonancia con estos estudios.

- Plataforma de contacto *ErgoJump Plus* (E)

Es una plataforma de contacto de tipo optoeléctrica (Figura 2), utilizada en estudios previos de investigación (Artero et al., 2007; Ruiz et al., 2006). El sistema consta de 9 emisores y 9 receptores de luz infrarroja, colocados en dos módulos independientes, con una separación entre ellos de 9 cm, lo que conforma una superficie activa de detección de contacto de 0.81 m de longitud y anchura variable (separación entre ambos listones); para el presente estudio se ha seleccionado una anchura de 1.00 m. La altura a la que se colocó este sistema respecto del suelo fue de 0.7 cm. Los receptores de luz infrarroja se encuentran conectados en serie, y al cambiar el estado del circuito optoeléctrico (de abierto a cerrado, o viceversa) el módulo receptor generaba una señal que era transmitida mediante cableado a una unidad de adquisición de datos, siendo introducida posteriormente en el microprocesador del *ErgoJump Plus*. Este microprocesador utilizaba un software en el cual se seleccionó la modalidad de salto CMJ, obteniendo, después de cada salto, el tiempo de vuelo con una precisión de 0.001 s ó 1000 Hz. Ningún estudio previo ha demostrado la fiabilidad y validez de este sistema.

- Plataforma de contacto *SportJump System Pro* (S)

Se trata también de una plataforma de contacto de tipo optoeléctrica, compuesta por 32 emisores y 32 receptores de luz láser modulada, colocados en dos listones independientes (Figura 2), lo que conforma una superficie activa de detección de corte de 0.96 m de longitud y anchura variable (separación entre ambos listones). Los módulos emisor y receptor se colocaron a una altura idéntica a la utilizada en la otra plataforma de contacto (0.7 cm) y se separaron con una distancia de 1.00 m entre ambos. Al cambiar el estado del circuito optoeléctrico (de abierto a cerrado, o viceversa) el módulo receptor generaba una señal que era transmitida mediante cableado e introducida en el ordenador a través de un puerto de comunicaciones (COM/USB). El software *SportJump-v2.0*, compatible con el entorno *Windows*, era el encargado de procesar la señal emitida por la plataforma de contacto optoeléctrica. Este software representa una modificación del *SportJump-v1.0*, validado en estudios anteriores (García-López et al., 2003 y 2005), que permitió registrar los tiempos de vuelo durante el salto con una precisión de 1000 Hz ó 0.001 s.

Análisis gráfico y estadístico

El registro de los datos y el análisis gráfico han sido realizados con el software Microsoft Office Excel-2003, mientras que el análisis estadístico se ha

realizado con el software SPSS-v14.0. Los datos se presentan como valores medios y desviación estándar de la media (Media \pm DS). La variabilidad de los 3 saltos de cada sujeto se calculó con el coeficiente de variación (CV): CV= DS \times 100/Media (Croning y Templeton, 2008). También se calculó el intervalo de confianza al 95% (IC 95%) para las diferencias obtenidas entre los tiempos de vuelo PF-EJ y PF-SJ (Smith et al., 2001). Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para medidas repetidas, utilizando la prueba post-hoc de Scheffé, para comparar los tiempos de vuelo y el CV de los saltos registrados en Plataforma de Fuerzas, ErgoJump Plus y SportJump System Pro. El test de Pearson fue utilizado para el cálculo de las correlaciones entre los tres sistemas. La normalidad de todas las variables utilizadas en los análisis estadísticos mencionados fue comprobada utilizando el test de Kolmogorov-Smirnov. El nivel de significación estadística utilizado fue P<0.05.

RESULTADOS

El análisis de la varianza indica que el tipo de plataforma influyó en el tiempo de vuelo registrado (F=27.97 y p<0.001) y en el CV de los 3 saltos (F=106.77 y p<0.001). En la Tabla 1 se observa que, en relación a la Plataforma de Fuerzas (método de referencia), el *ErgoJump Plus* subestimó en 50.8 ms el tiempo de vuelo, con un intervalo de confianza de (IC 95%= 45.1-56.5 ms), mientras que el *SportJump System Pro* lo subestimó en menor media (10.6 ms), con un intervalo de confianza considerablemente más estrecho (IC 95%= 10.4-10.9 ms). Saltar en dirección longitudinal o transversal influyó (p<0.001) en estas diferencias únicamente en la plataforma *ErgoJump Plus* (57.1 \pm 52.6 y 44.3 \pm 39.6 ms, respectivamente), pero no influyó (p>0.05) en la plataforma *SportJump System Pro* (10.5 \pm 1.7 y 10.8 \pm 2.1 ms, respectivamente). Asimismo, el CV fue mucho mayor en los 3 saltos de cada ejecutante que fueron registrados en el dispositivo *ErgoJump Plus* (6.6 \pm 4.8% y p<0.001), en relación con los obtenidos con Plataforma de Fuerzas (1.19 \pm 0.78%) y con *SportJump System Pro* (1.21 \pm 0.81%), sin diferencias entre estos dos últimos.

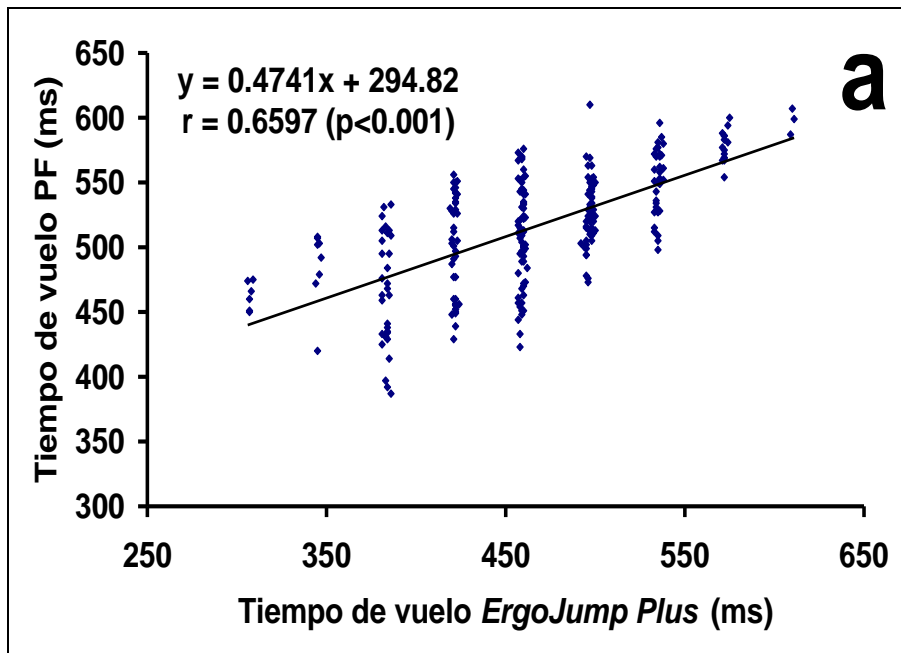
TABLA 1.

Tiempo de vuelo (Tv) registrado por la Plataforma de Fuerzas (PF), *ErgoJump Plus* (EJ) y *SportJump System Pro* (SJ). Coeficiente de variación (CV) entre los 3 saltos ejecutados por cada estudiante. Diferencias en el tiempo de vuelo respecto a PF (Dif-PF), saltando en dirección longitudinal (Dif-PF L) y transversal (Dif-PF T)

	Tv (ms) (n=267)	Dif-PF (ms) (n=267)	Dif-PF L (ms) (n=132)	Dif-PF T (ms) (n=135)	CV (%) (n=89)
PF	514.8±44.8	-	-	-	1.19±0.78
EJ	464.0±62.4*	50.8±47.0	44.3±39.6	57.1±52.6#	6.61±4.81*
SJ	504.2±45.2*	10.6±1.9	10.5±1.7	10.8±2.1	1.21±0.81

* Diferencias significativas respecto a PF (p<0.001). # Diferencias significativas respecto a la dirección longitudinal del salto (p<0.001)

La relación entre el tiempo de vuelo en la Plataforma de Fuerzas y en el *ErgoJump Plus* fue significativa (r=0.6597) (Figura 3a), mientras que la relación entre el tiempo de vuelo en la Plataforma de Fuerzas y en el *SportJump System Pro* resultó muy significativa (r=0.9992) (Figura 3b). Las diferencias entre el tiempo de vuelo registrado con el *ErgoJump Plus* y el *SportJump System Pro* respecto a la Plataforma de Fuerzas no se relacionaron con el tiempo de vuelo registrado en este último sistema (r= 0.08 y -0.20, respectivamente, p>0.05).



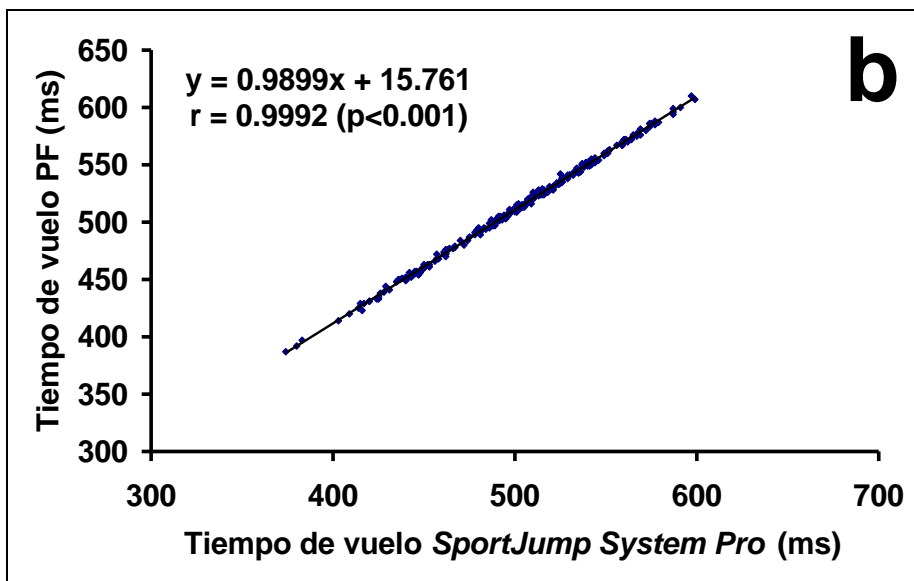


Figura 3. (a) Relación (n= 267) entre el tiempo de vuelo en la Plataforma de Fuerzas (PF) y el tiempo de vuelo en el *ErgoJump Plus* (E). (b) Relación (n= 267) entre el tiempo de vuelo en la Plataforma de Fuerzas (PF) y el tiempo de vuelo en el *SportJump System Pro* (S)

DISCUSIÓN

El presente trabajo, ha permitido verificar que la plataforma de contacto optoeléctrica *ErgoJump Plus* subestima el tiempo de vuelo en 50.8 ms, mientras que el dispositivo *SportJump System Pro* lo subestima en 10.6 ms, respecto a la Plataforma de Fuerzas, evidenciando en ambos casos el efecto contrario a lo observado en estudios precedentes donde una plataforma de contacto mecánica (*SportJump-v1.0*) sobreestimaba el tiempo de vuelo en 9.2 ms, utilizando una metodología similar (García-López et al., 2003 y 2005). Este comportamiento diferencial entre las plataformas de contacto optoeléctricas y mecánicas es debido a que las primeras deben colocarse ligeramente elevadas respecto al suelo, subestimando así el tiempo de vuelo, mientras que las segundas necesitan de cierta presión para ser activadas (variable en función del dispositivo mecánico que se utilice en su fabricación), sobreestimando así el registro del tiempo de vuelo.

Convirtiendo el tiempo de vuelo en altura de salto vertical, la plataforma de contacto optoeléctrica *ErgoJump Plus* subestima entre 4.7 y 8.4 cm el valor de altura real para saltos verticales entre 20 y 60 cm respectivamente, mientras que la plataforma optoeléctrica *SportJump System Pro* subestima la medida entre 1.0 y 1.8 cm (Figura 4). Por contra, como quedó demostrado en estudios

anteriores (García-López et al., 2005), la plataforma mecánica SportJump-v1.0 sobreestima estas mediciones entre 0.9 y 1.6 cm, respectivamente. Sumando ambas diferencias, obtenemos que el efecto de utilizar una plataforma optoeléctrica o una de tipo mecánico, supondría todavía mayores diferencias (entre 5.7 y 10.2 cm para saltos entre 20 y 60 cm, respectivamente, en el caso de utilizar ErgoJump Plus y una plataforma mecánica, y entre 1.9 y 3.4 cm para saltos entre 20 y 60 cm respectivamente en el caso de utilizar SportJump System Pro y una plataforma mecánica) a la hora de comparar los registros de salto que son tomados indistintamente por estos dispositivos.

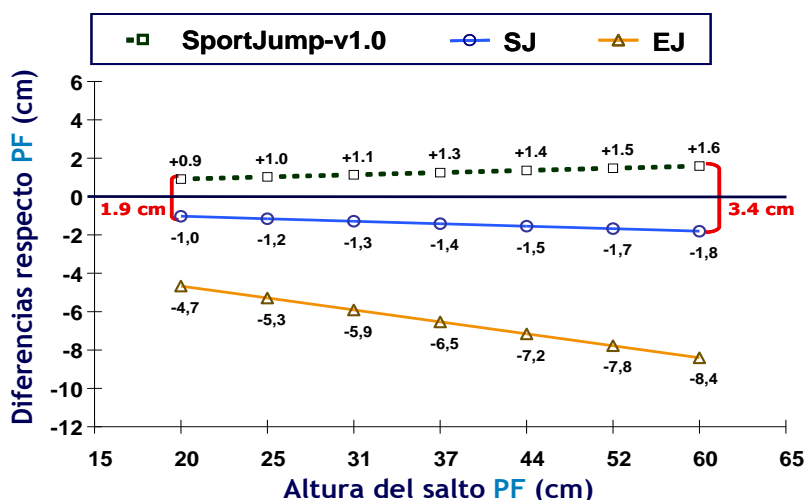


FIGURA 4. Efecto en la altura de salto vertical al utilizar una plataforma de contacto mecánica (*SportJump-v1.0*) y dos modelos de plataformas de contacto optoeléctricas (*ErgoJump Plus* –EJ– y *SportJump System Pro* –SJ–). Los valores positivos indican que se sobreestima la altura del salto respecto a la Plataforma de Fuerzas (PF), los negativos indican lo contrario

Obviamente, esta variación resulta crítica en un estudio científico, ya que en un grupo de deportistas como, por ejemplo, los futbolistas profesionales, donde la altura del CMJ ronda los 40 cm (Rampinini et al., 2007), las mejoras en la altura de este salto tras un periodo de entrenamiento (estudios longitudinales) pueden oscilar entre 2.2 y 4.4 cm (García-López et al., 2001; Impellizzeri et al., 2008). Entonces, el hecho de seleccionar indistintamente un tipo u otro de plataformas de contacto (optoeléctrica vs mecánica) a la hora de llevar a cabo el test inicial y posteriormente el re-test, podría enmascarar los verdaderos efectos del entrenamiento. Lo mismo ocurriría con los estudios transversales, meta-analíticos y de revisión sobre fútbol profesional (Stolen et al., 2005), donde se recopilan y comparan diferentes trabajos científicos que utilizaron distintos dispositivos para medir la altura del salto vertical en CMJ.

Siguiendo la línea del trabajo de Viitasalo et al. (1997) y recopilando los datos del estudio de García-López et al. (2005), sería interesante corregir los valores de tiempo de vuelo en función del tipo de plataforma de contacto utilizada. Así, proponemos restar un tiempo de vuelo de 9.2 ms cuando se mida con la plataforma de contacto mecánica *SportJump-v1.0* y sumar 50.8 ms cuando se utilice el dispositivo optoeléctrico *ErgoJump Plus*. En el caso del *SportJump System Pro*, la diferencia de los 10.6 ms con respecto al método de referencia (Plataforma de Fuerzas) obtenida en este estudio, ya se presenta corregida mediante el software que gestiona los registros. Así, este software automáticamente suma 11 ms a los datos de tiempo de vuelo que le llegan del dispositivo, de tal forma que el registro final que se muestra al usuario presenta máxima exactitud y correspondencia con la altura del salto efectuado. Sería aconsejable que los investigadores realizaran su propio estudio de validación cuando los dispositivos mecánicos u optoeléctricos sean diferentes a los que aquí se han expuesto, principalmente porque la altura a la que se coloquen los dispositivos optoeléctricos y la tecnología que utilicen van a afectar al tiempo de vuelo, de la misma forma que lo harán la flexibilidad y dureza de una plataforma de contacto mecánica construida de forma diferente al *SportJump-v1.0* (García-López et al., 2005).

En lo que al análisis de validez se refiere, la plataforma de contacto optoeléctrica *SportJump System Pro* (SJ) ha obtenido un alto nivel de correlación con la Plataforma de Fuerzas ($r= 0.9992$), y aunque existen diferencias cuantitativas entre ambos métodos (10.6 ms), estas diferencias son constantes, ya que en un 95% de las mediciones estuvieron en un rango de 0.5 ms (10.4-10.9 ms). Estos resultados confirman la validez del dispositivo de tecnología láser *SportJump System Pro* (SJ) para el registro del tiempo de vuelo durante el salto vertical. Respecto a la fiabilidad, el coeficiente de variación de los 3 saltos máximos registrados con este sistema también es similar al obtenido con la Plataforma de Fuerzas (método de referencia), lo que indica que no existen otros factores que distorsionen el tiempo de vuelo, permitiendo afirmar que este sistema resulta fiable para llevar a cabo mediciones de salto vertical en estudios de carácter científico. No se puede decir lo mismo de la validez y fiabilidad de la plataforma de contacto optoeléctrica *ErgoJump Plus*, ya que respecto a la Plataforma de Fuerzas (método de referencia), muestra una menor correlación ($r= 0.6597$), unas diferencias superiores en el tiempo de vuelo (50.8 ms), que además no son constantes (IC 95% entre 45.1 y 56.5 ms), y un mayor coeficiente de variación (6.61%) entre los saltos; de hecho, este CV ha resultado ser unas 5 veces mayor que el obtenido en la Plataforma de Fuerzas y

el *SportJump System Pro* (1.19% y 1.21%, respectivamente), y casi 3 veces mayor que el reflejado en otros estudios (2.4%) que analizaron la fiabilidad del salto en CMJ realizado en una plataforma de contacto mecánica (Moir et al., 2004). En consonancia con nuestro planteamiento metodológico, el trabajo de Moir et al. (2004) también fue realizado con estudiantes de educación física, y demostró que no era necesaria una sesión de familiarización para disminuir los coeficientes de variación del salto en CMJ.

Con la realización de este estudio, se ha podido comprobar que los registros obtenidos con el *ErgoJump Plus* no son continuos (Figura 3a), sino que aparecen agrupados en intervalos más o menos regulares de unos 40 ms, lo que denota una escasa sensibilidad de este dispositivo. Por su parte, los registros obtenidos con el *SportJump System Pro* (Figura 3b) se muestran de forma continua en todos los valores como corresponde a un dispositivo de medición sensible y/o preciso.

Por último, es importante destacar que la altura real del salto vertical (representada como tiempo de vuelo del salto registrado en la Plataforma de Fuerzas) no se relacionó con las diferencias entre las plataformas de contacto optoeléctricas (*SportJump System Pro* y *ErgoJump Plus*) y la Plataforma de Fuerzas. Esto puede ser debido a la escasa altura respecto al suelo a la que se colocaron los emisores y receptores optoeléctricos (0.7 cm). En un estudio anterior que comparó los tiempos de contacto durante la carrera medidos con dispositivos optoeléctricos y con Plataforma de Fuerzas (Viitasalo et al., 1997), se destacó que cuando la altura de los dispositivos era de 1.0 cm (comparando alturas de 1.0, 2.3, 3.7 y 4.6 cm), las diferencias entre ambos métodos eran constantes, con un bajo coeficiente de variación (1.41%, frente a 1.21% obtenido por *SportJump System Pro* en el presente trabajo), y no dependientes de la velocidad de carrera. Si se aumentaba la altura de los haces respecto al suelo, dichas diferencias dependían de la velocidad de la carrera. Estos autores fueron capaces de corregir y estimar el tiempo de apoyo con gran precisión usando una altura de los haces de 1.0 cm.

A la luz del estudio realizado, sorprende que el *ErgoJump Plus* haya sido propuesto para medir el salto vertical en baterías de tests de condición física en el ámbito de la salud (Ruiz et al., 2006), y que haya sido utilizado para valorar los efectos de un calentamiento con estimulación vibratoria (vibraciones de cuerpo completo ó *whole-body vibration*) en el rendimiento del salto vertical en CMJ (Artero et al., 2007). En todo caso, sólo estos dos trabajos científicos han utilizado el *ErgoJump Plus*, mientras que otro dispositivo optoeléctrico como es el *OptoJump*, que no ha sido testeado en el presente trabajo, se ha utilizado en dieciséis estudios científicos, también sin haber probado anteriormente su

fiabilidad y validez (Dal Monte et al., 2002; Maffiuletti et al., 2002; Girard et al., 2005 y 2006; Lafortuna et al., 2005; Lehance et al., 2005; Marginson et al., 2005; Tessitore et al., 2005, 2007a, 2007b y 2007c; Rampinini et al., 2007; Bertucci et al., 2008; Buchheit et al., 2008; Impellizzeri et al., 2008; Sartorio et al., 2008). Tal y como afirmaron Zatsiorsky y Fortney (1993), "...los métodos y técnicas contrastados registran resultados fiables, y éstos nos llevarán a conclusiones certeras...", y utilizar dispositivos para medir el salto vertical que no han sido validados, sólo hará que crear confusión en el ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Futuros trabajos deberán analizar si el dispositivo *OptoJump* es válido y fiable para estimar la altura del salto vertical a partir del tiempo de vuelo.

CONCLUSIONES

- La altura del salto vertical obtenida a partir del método de tiempo de vuelo depende del tipo de plataforma de contacto utilizada, existiendo amplias diferencias en función del dispositivo empleado (mecánico vs optoeléctrico, y de las diferentes tecnologías utilizadas por los dispositivos optoeléctricos). Los sistemas optoeléctricos subestiman el tiempo de vuelo, contrariamente a lo que se había descrito para las plataformas de tipo mecánico, por lo que futuros estudios deben tener en cuenta estas diferencias.
- La plataforma de contacto optoeléctrica *SportJump System Pro*, que incorpora una novedosa tecnología láser, ha resultado válida (altos niveles de correlación con la Plataforma de Fuerzas) y fiable (bajo CV entre los 3 saltos máximos realizados por cada sujeto y estrecho margen de diferencias con la Plataforma de Fuerzas) para registrar el tiempo de vuelo en el salto vertical (CMJ) en el ámbito de la investigación científica. Las diferencias obtenidas con respecto a la Plataforma de Fuerzas, considerada como método de referencia, son constantes y no dependen de la altura del salto vertical. Futuros trabajos deberán probar si este sistema es aplicable a la medición del tiempo de apoyo y de vuelo durante la carrera, como ya se ha realizado con otros dispositivos en estudios previos (Viitasalo et al., 1997).
- Resulta bastante frecuente que la fiabilidad y validez de las plataformas de contacto (optoeléctricas y mecánicas) no sean probadas antes de su utilización como parte de la metodología científica, lo cual puede crear

confusión a la hora de interpretar los resultados que con ellas se obtienen. Se recomienda seguir procedimientos similares a los del presente trabajo con anterioridad a la utilización de nuevos dispositivos para registrar tiempos de vuelo, cuya fiabilidad y validez no se encuentre testada en la literatura científica.

REFERENCIAS

- ARAGÓN-VARGAS, L.F. (2000). Evaluation of Four Vertical Jump Tests: Methodology, Reliability, Validity, and Accuracy. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 4 (4), 215–228.
- ARTERO, E.G.; ESPAÑA-ROMERO, V.; ORTEGA1, F.B.; JIMÉNEZ-PAVÓN, D.; CARREÑO-GÁLVEZ, F.; RUIZ, J.R.; GUTIÉRREZ, A. Y CASTILLO, M.J. (2007). Use of whole-body vibration as a mode of warming up before counter movement jump. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 (4), 574-5.
- BACA, A. (1999). A comparison of methods for analyzing drop jump performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (3), 437-442.
- BERTUCCI, W.; HOURDE, C.; MANOLOVA, A. Y VETTORETTI, F. (2008). Mechanical performance factors of the bmx acceleration phase in trained riders. *Science y Sports*, 22, 179–181.
- BUCHHEIT, M. (2008). Field tests to monitor athletic performance throughout a team-sport season. *Science y Sports*, 23, 29–31.
- BUCHHEIT, M.; MILLET, G.P.; PARISY, A.; POURCHEZ, S.; LAURSEN, P.B. Y AHMAIDI, S. (2008). Supramaximal Training and Postexercise Parasympathetic Reactivation in Adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (2): 362–371.
- COMETTI, G.; MAFFIULETTI, N.A.; POUSSON, M.; CHATARD, J.C. Y MAFFULLI, N. (2001). Isokinetic Strength and Anaerobic Power of Elite, Subelite and Amateur French Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 22 (1), 45-51.
- CRONIN, J.B. Y TEMPLETON, R.L. (2008). Timing light height affects sprint times. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (1), 318-20.
- DAL MONTE, A.; FAINA, M. Y MIRRI, G. (2002). Fatigue and sport. *Functional Neurology*, 17 (1), 7-10.
- GARCÍA-LÓPEZ, J.; VILLA, J.G.; MORANTE, J.C. Y MORENO, C. (2001). Influencia del entrenamiento de pretemporada en la fuerza explosiva y velocidad de un equipo profesional y otro amateur de un mismo club de fútbol. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 63, 46-52.
- GARCÍA-LÓPEZ, J.; PELETEIRO, J.; RODRÍGUEZ-MARROYO, J.A.; MORANTE, J.C. Y 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.

- GARCÍA-LÓPEZ, J. Y PELETEIRO, J. (2004). Tests de salto vertical (II): Aspectos biomecánicos. RendimientoDeportivo.com, N°7. <<http://www.RendimientoDeportivo.com/N007/Artic032.htm>> [Consulta 26/12/2004]
- GARCÍA-LÓPEZ, J.; PELETEIRO, J.; RODRÍGUEZ-MARROYO, J.A.; MORANTE, J.C.; HERRERO, J.A. Y VILLA, J.G. (2005). The validation of a new method that measures contact and flight times during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 26 (4), 294-302.
- GIRARD, O.; VASEUX, D. Y MILLET, G.P (2005). Comparison of efficiency of three training programs in tennis players. *Science y Sports*, 20, 45–47.
- GIRARD, O.; LATTIER, G.; MICALLEF, J.P. Y MILLET, G.P. (2006). Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *British Journal of Sports Medicine*, 40 (6), 521-526.
- HATZE, H. (1998). Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 14 (2), 127-140.
- IMPELLIZZERI, F.M., RAMPININI, E., CASTAGNA, C., MARTINO, F., FIORINI, S. Y WISLOFF, U. (2008). Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 42 (1), 42–46.
- KIBELE, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: a methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14 (1), 105-117.
- KLAVORA, P. (2000). Vertical-jump Tests: A Critical Review. *Strength and Conditioning Journal*, 22 (5), 70-75.
- LAFORTUNA, C.L.; MAFFIULETTI, N.A.; AGOSTI, F. Y SARTORIO, A. (2005). Gender variations of body composition, muscle strength and power output in morbid obesity. *International Journal of Obesity*, 29 (7), 833–841.
- LEHANCE, C.; CROISIER, J.L. Y BURY, T. (2005). Optojump system efficiency in the assessment of lower limbs explosive strength. *Science y Sports*, 20, 131–135.
- MAFFIULETTI, N.A.; DUGNANI, S.; FOLZ, M.; DI PIERNO, E. Y MAURO, F. (2002). Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (10): 1638–1644.
- MARGINSON, V.; ROWLANDS, A.V.; GLEESON, N.P. Y ESTON, R.G. (2005). Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *Journal of Applied Physiology*, 99 (3),1174-81.
- MOIR, G.; BUTTON, C.; GLAISTER, M. Y STONE M.H. (2004). Influence of familiarization on the reliability of vertical jump and acceleration sprinting performance in physically active men. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 18 (2), 276–280.

- RAMPININI, E.; BISHOP, D.; MARCORÀ, S.M.; FERRARI BRAVO, D.; SASSI, R. Y IMPELLIZZERI, F.M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28 (3), 228-35.
- RUIZ, J.R.; ORTEGA, F.B.; GUTIERREZ, A.; MEUSEL, D.; SJÖSTRÖM, M. Y CASTILLO, M.J. (2006). Health-related fitness assessment in childhood and adolescence: a European approach based on the AVENA, EYHS and HELENA studies. *Journal of Public Health*, 14 (5), 269-277.
- SARTORIO, A.; AGOSTI, F.; DE COL, A.; MAZZILLI, G.; MARAZZI, N.; BUSTI, C.; GALLI, R. Y LAFORTUNA CL (2008). Muscle strength and power, maximum oxygen consumption, and body composition in middle-aged short-stature adults with childhood-onset growth hormone deficiency. *Archives of Medical Research*, 39 (1), 78-83.
- SLEIVERT, G.G.; BACKUS, R.D. Y WENGER, H.A. (1995). Neuromuscular differences between volleyball players, middle distance runners and untrained controls. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (6), 390-398.
- SMITH, M.F.; DAVISON, R.C.R.; BALMER, J. Y BIRD, S.R. (2001). Reliability of mean power recorded during indoor and outdoor self-paced 40 km cycling time-trials. *International Journal of Sports Medicine*, 22 (4), 270-74.
- STØLEN, T.; CHAMARI, K.; CASTAGNA, C. Y WISLØFF, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine*, 35 (6), 501-36.
- TABERNERO, B., VILLA, J.G., MÁRQUEZ, S. Y GARCÍA-LÓPEZ, J. (2000). Cambios en el nivel de condición física relacionada con la salud en mujeres participantes en un programa municipal de baile aeróbico. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 61, 74-79.
- TESSITORE, A.; MEEUSEN, R.; TIBERI, M.; CORTIS, C.; PAGANO, R. Y CAPRANICA, L. (2005). Aerobic and anaerobic profiles, heart rate and match analysis in older soccer players. *Ergonomics*, 48 (11-14), 1365-77.
- TESSITORE, A.; CORTIS, C.; MEEUSEN, R. Y CAPRANICA, L. (2007a). Power performance of soccer referees before, during, and after official matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (4): 1183-1187.
- TESSITORE, A.; MEEUSEN, R.; CORTIS, C. Y CAPRANICA, L. (2007b). Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3), 745-750.
- TESSITORE, A.; TIBERI, M.; CORTIS, C.; RAPISARDA, E.; MEEUSEN, R. Y CAPRANICA, L. (2007c). Aerobic-anaerobic profiles, heart rate and match analysis in old basketball players. *Gerontology*, 52 (4), 214-22.
- VAQUERA, A.; RODRÍGUEZ, J.A.; VILLA, J.G.; GARCÍA-LÓPEZ, J. Y ÁVILA, C. (2002). Cualidades fisiológicas y biomecánicas del jugador joven de Liga EBA. *Motricidad: European Journal of Human Movement*, 9, 43-63.

García- López, J.; Rodríguez-Marroyo, J. A.; Pernía, R.; Ávila, M. C.; Villa, J. G. El tipo de plataforma...

VIITASALO, J.T; LUHTANEN, P.; MONONE, H.V.; NORVAPALO,K; PAAVOLAINEN, L.; SALONEN, M. (1997). Photocell contact mat: a new instrument to measure contact and flight times in running, *Journal of Applied Biomechanics*, 13 (2), 254-266.

VILLA, J.G. Y GARCÍA-LÓPEZ, J. (2003). Tests de salto vertical (I): Aspectos funcionales. RendimientoDeportivo.com, N°6. <<http://www.RendimientoDeportivo.com/N006/Artic029.htm>> [Consulta 13/12/2004]

ZATSIORSKY, V.M. Y FORTNEY, V.L. (1993). Sport biomechanics 2000. *Journal of Sports Sciences*, 11 (4), 279-83.

