

Monograph

Un Sistema de Contacto de Bajo Costo para Evaluar la Velocidad de Desplazamiento de la Carga en una Máquina para el Entrenamiento con Sobrecarga

Bernat Buscà¹ y Anna Font¹

¹Faculty of Psychology, Education Sciences and Sport Blanquerna - Ramón Llull University, Barcelona, Spain.

RESUMEN

En el presente estudio se buscó determinar la validez de un nuevo sistema para evaluar el desplazamiento y la velocidad promedio en ejercicios de entrenamiento con sobrecarga realizados con máquinas utilizando el sistema Chronojump. El nuevo diseño consiste de una barra de contacto y un simple mecanismo de bajo costo que detecta la conductividad de potenciales eléctricos con un cronógrafo de precisión. Este sistema les permite a los entrenadores evaluar la velocidad para controlar el proceso del entrenamiento de fuerza. Se llevó a cabo un estudio de validación para evaluar los parámetros de la fase concéntrica en el ejercicio de prensa de pierna. Los datos del tiempo de salida del sistema Chronojump, en combinación con los del rango de movimiento pre-establecido, se compararon con los datos de un sensor de posición conectado a un sistema Biopac. Se registró una sub-serie de 87 acciones de 11 jugadores de tenis profesional y, utilizando los dos métodos, se compararon las variables de velocidad y desplazamiento promedio en la misma acción. Se realizó una prueba *t* para muestras dependientes y un análisis de correlación. El valor de *r* que derivó de la correlación entre el sistema Biopac y el sistema de contacto Chronojump fue de > 0.94 para todas las mediciones de desplazamiento y velocidad con todas las cargas ($p < 0.01$). El Tamaño del Efecto (ES) fue de 0.18 para el desplazamiento y de 0.14 para la velocidad y varió de 0.09 a 0.31 y de 0.07 a 0.34, respectivamente. La magnitud de la diferencia entre los dos métodos en todos los parámetros y los valores de correlación proporcionaron cierta evidencia de validez del sistema Chronojump para evaluar la velocidad promedio de desplazamiento de cargas en una máquina de entrenamiento con sobrecarga

Palabras Clave: velocidad, pruebas, entrenamiento de fuerza, eventos de velocidad

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de entrenamiento que estimulan los perfiles de velocidad asociados con el rendimiento funcional de cada disciplina, como el entrenamiento de lanzamiento o salto, pueden optimizar la adaptación funcional (De Villarreal et al., 2009). El tiempo para mover las diferentes cargas de entrenamiento con sobrecarga, el rango de movimiento que se completa en cada repetición, la velocidad producida en dichos movimientos y la potencia ejercida en cada carga son

especialmente útiles para controlar el proceso de entrenamiento. Los entrenadores pueden reajustar los programas de entrenamiento en tiempo real y a la vez tener en cuenta los datos de diversos parámetros de la cinemática obtenidos para varios ejercicios importantes durante el entrenamiento con sobrecarga, incluyendo el press de banca, la prensa de pierna, la media sentadilla y las extensiones de rodilla. Con respecto a esto, el entrenamiento con sobrecarga es importante en el deporte moderno y en los últimos años ha generado varias investigaciones sobre los métodos e instrumentos de evaluación. Trabajando con médicos, biomecánicos y fisiólogos, los entrenadores deportivos han contribuido al desarrollo de sistemas más precisos, válidos y confiables para evaluar las variables cinemáticas en los ejercicios con sobrecarga. Por lo tanto, se han utilizado codificadores ópticos, análisis de video cinematográfico y una acelerometría para medir la velocidad de salida en ejercicios de entrenamiento con sobrecarga (Bosco, 1995; Cormie et al., 2007; Drinkwater et al., 2007).

Varios estudios de validación relacionados con esta tecnología han reportado su utilidad para evaluar diversos parámetros cinemáticos relacionados con el trabajo muscular. Por ejemplo, Drinkwater et al. (2007) compararon los valores de producción de potencia obtenidos con un encoder óptico controlado por un programa diseñado recientemente y los valores obtenidos mediante una grabación de video de 50-Hz reportando coeficientes de variación en el rango de 1.08% y 3.06% para los ejercicios de sentadilla, lanzamiento y press de banca respectivamente. Jandačka y Vaverka (2009) propusieron un nuevo sistema para medir la producción de potencia mecánica durante el ejercicio de press de banca; su sistema Qualysis combina mediciones dinámicas y cinemáticas. A fin de obtener la posición exacta en tiempo y espacio, ocho cámaras de video de alta velocidad capturaron el movimiento de determinados puntos en el espacio a una frecuencia de 240 Hz. A la hora de validar el sistema con respecto a la producción de una plataforma de fuerza, no hallaron diferencias significativas en la velocidad del movimiento. No obstante, se halló una diferencia significativa en la fuerza promedio ejercida. Leard et al. (2007) realizaron un estudio de validación del salto vertical evaluado simultáneamente por una manta de contacto, un dispositivo Vertec®, y un sistema de análisis de movimiento de 3 cámaras como referencia de criterio. En este estudio, se hallaron correlaciones de Pearson altamente significativas entre los tres métodos, aunque un análisis de varianza mostró diferencias significativas entre el dispositivo Vertec® y los resultados del sistema de video ($p = 0.97$). Hutchinson y Stone (2009) calcularon la validez simultánea entre un nuevo sistema de medición de la altura del salto vertical (*MVertical Jump Mat*) y el sistema Vertec®. Los autores reportaron una correlación significativa ($R^2 = 0.83$; $p < 0.001$) entre ambos dispositivos. Mientras que este tipo de tecnología es particularmente útil para los entrenadores, la accesibilidad puede ser limitada debido al costo elevado, las limitaciones del movimiento del ejercicio o un análisis de datos de resultados complejos. Una tecnología de bajo costo que utilice los mismos sistemas para evaluar saltos, ejercicios con pesos libres y máquinas puede ser una mejor solución para los entrenadores y los deportistas.

Las mantas de contacto con un sistema de cronógrafo son un sistema de contacto que proporciona datos confiables y precisos sobre los eventos de velocidad en el deporte. Teniendo en cuenta la base de esta metodología de evaluación, otro tipo de sistema de contacto permite el control de otros eventos de velocidad, además de los saltos. Con respecto a esto, el Chronojump es un sistema útil creado para el análisis y el manejo de datos de acciones de velocidad en el deporte basado en un cronógrafo preciso (*chronopic*) que detecta cambios en potenciales eléctricos. El sistema consiste de un programa libre que utiliza el hardware abierto Chronopic (De Blas y González-Gómez, 2005). La confiabilidad y validez de la señal del Chronopic V.3 se probó a través de una comparación entre un osciloscopio y los datos proporcionados por el Chronopic de ondas cuadradas de 9 a 1.5 Hz en intervalos de 0.5 Hz (De Blas et al., 2009). El error promedio en una señal alta y baja fue de 0.04% y 0.13%, respectivamente. El carácter abierto de esta tecnología consiste de una guía completa disponible para descargar, la instalación del programa y una aplicación para comprar o crear el hardware y los sensores. Por lo tanto, la accesibilidad del sistema y el bajo costo de los materiales y los componentes constituyen una herramienta valiosa para los entrenadores deportivos y, al mismo tiempo, un instrumento preciso para investigar las mediciones de los eventos de velocidad.

Al utilizar el sistema Chronojump, se propusieron sensores de contacto para controlar la velocidad de salida en un ejercicio de press de banca (Buscà y De Blas, 2008). En este estudio, los autores compararon el nuevo sistema de contacto con un encoder lineal óptico conectado al sistema de adquisición de datos Musclelab®. Se halló un error relativo promedio de 2.26% ($\pm 1.04\%$), pero al observar los valores de correlación para cada carga, se detectó un problema de evaluación en las cargas más bajas (20 kg). Para atender esta circunstancia, se calculó un nuevo error relativo, excluyendo las acciones de 20 kg con una disminución significativa del error relativo promedio ($1.85\% \pm 0.98\%$). Los autores detectaron algunos problemas con la rigidez del sistema de contacto, que fueron causados por las fluctuaciones en el rango de movimiento en los ejercicios de entrenamiento con sobrecarga ejecutados a velocidades elevadas. Concluyeron que un sistema de contacto más flexible podría detectar mejor estas fluctuaciones y mejorar la validez de las mediciones, además, sugirieron que el sistema podría adaptarse a cualquier máquina de entrenamiento con sobrecarga.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue examinar la validez de un nuevo sistema para evaluar la velocidad de desplazamiento de una máquina de entrenamiento con sobrecarga. Para este propósito, se analizaron los datos del ejercicio funcional con sobrecarga. Se ha planteado la hipótesis de que el rango de movimiento y la producción de la velocidad media de un ejercicio de prensa de pierna evaluado por el sistema Chronojump no fueron significativamente diferentes de los resultados obtenidos por un sensor de posición conectado al sistema Biopac.

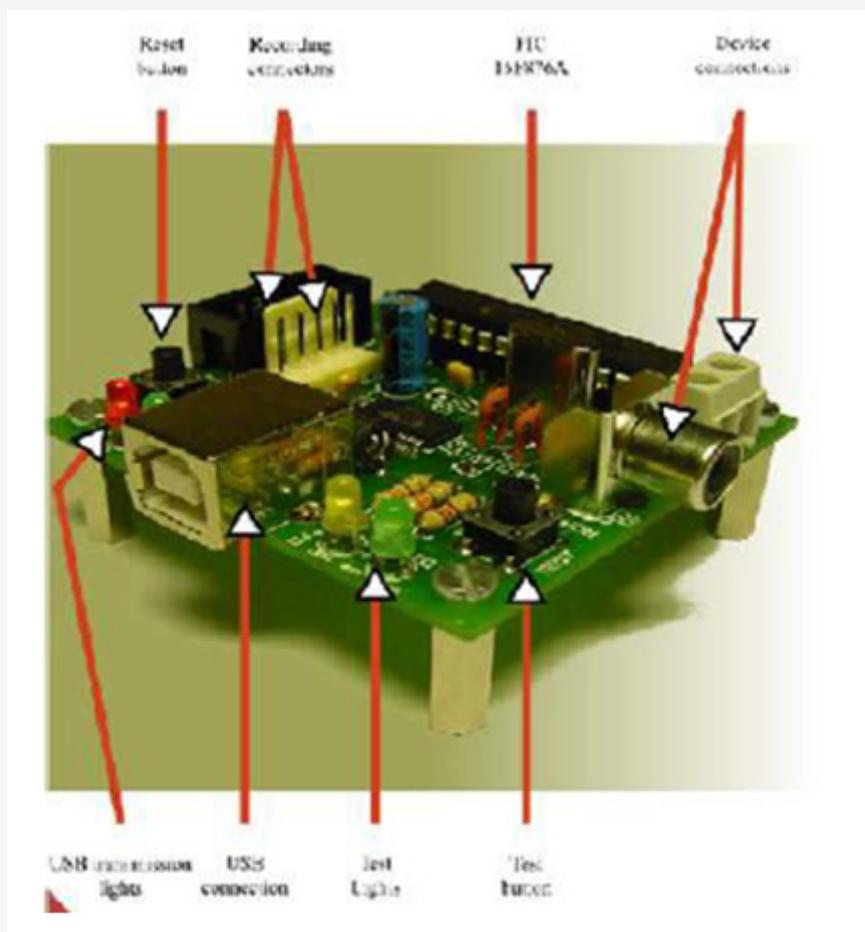
MÉTODOS

Descripción del Sistema

El sistema consiste de una barra de contacto de doble conducción conectada a un Skypic (Chronopic) que registra el tiempo a 1000 Hz. Asimismo el Skypic también está conectado a una computadora personal (PC) con el programa Chronojump 0.9 para evaluar datos. El sistema Chronopic v.3, recientemente desarrollado (Figura 1), sólo contiene los componentes necesarios para la evaluación del tiempo en el deporte (e.g., tests de Bosco). Está autorizado como hardware abierto para ser accesible, permitir el desarrollo derivativo y ser revisado por pares en su totalidad.

Las barras de contacto consisten de barras de hierro de 20cm de largo (4mm de diámetro) sujetos a una ventosa en vacío en uno de los extremos. La ventosa en vacío tiene propiedades dobles. Primero, facilitan la capacidad de fijar las barras en cualquier posición sobre los paneles plásticos que cubren el sistema de carga en las máquinas de entrenamiento con sobrecarga. Segundo, poseen las propiedades de conformidad necesarias para adaptarse a las mínimas variaciones en el límite superior del rango de movimiento (ROM).

A través de un cable de conducción, esta parte del circuito se conecta a un polo positivo del skypic. La otra parte del circuito es un bastón de hierro que fija la carga y está conectado a través de otro cable que va al polo negativo del skypic (Figura 2). En el límite superior del ROM, la barra de hierro sube debido a que el ROM pre-medido no es el ROM real que se completa en cada repetición. El cumplimiento y la elasticidad de la ventosa en vacío permiten un tiempo de contacto que se utilizará para calcular el ROM real. Luego, el skypic (0.05kg en la masa, 0.07 m x 0.05 m x 0.01 m (W x L x H) en la dimensión) envía la señal a través del puerto USB de una PC correctamente configurada utilizando las utilidades del programa Chronojump (ver Figura 1).



Participantes

Para el presente estudio se reunió de manera voluntaria un grupo de 10 jugadores de tenis profesional en buen estado de salud (7 mujeres y 3 hombres, edad = 20.2 ± 3.2 , altura: 1.74 ± 0.04 , peso: 60.4 ± 5.2 , clasificación nacional: 10.2 ± 3.3), miembros de un grupo de entrenamiento con base en el Centro Internacional de Entrenamiento de Tenis de Barcelona. El Comité de Ética de Investigación de la Universidad Ramon Llull de Barcelona (España) revisó y aprobó el estudio y su protocolo, y el mismo se llevó a cabo según los estándares de ética reconocidos.

Diseño Experimental y Recopilación de Datos

Las mediciones se realizaron de manera simultánea utilizando dos métodos. El sistema de contacto conectado a un Chronopic registró el tiempo para cada fase de movimiento (concéntrica y excéntrica) utilizando los sensores de contacto, y los datos se enviaron al programa Chronojump 0.9. Al mismo tiempo, un sensor de posición WSB 16k-200 (ASM, Inc., Moosinning, Alemania) conectado a un Biopac MP100 a través del amplificador del transductor DA100C (Biopac Systems, Inc., CA, Estados Unidos de América) registraron variaciones en la posición durante el ejercicio, y el programa Acqnowledge 3.0.9. (Biopac Systems, Inc., CA, Estados Unidos de América) determinó y registró la posición y la velocidad en una escala de tiempo. Además, las barras de contacto de hierro también se conectaron al sistema Biopac para analizar el tiempo de contacto a través de un canal digital del transductor HLT100C y determinarse junto con las otras señales en el sistema Biopac. Por lo tanto, el sistema Chronojump registró el desplazamiento pre-medido, el tiempo sin contacto y el tiempo de contacto. En la misma acción, el sistema Biopac registró el tiempo, las variaciones de posición y la velocidad. El sistema Biopac, el transductor y el sensor de posición utilizados para el experimento proporcionaron la posibilidad de ajustar los parámetros de la frecuencia de muestreo y utilizar la ganancia y las opciones de filtro para obtener la señal de entrada a partir del sistema de contacto en la misma acción. A través de la sensibilidad del sistema y las funciones del programa, se dispuso de los datos y trazados calculados en una escala de tiempo real. Este sistema se utilizó en diferentes estudios de fisiología muscular (Adams et al, 2004; Wang et al., 2005).

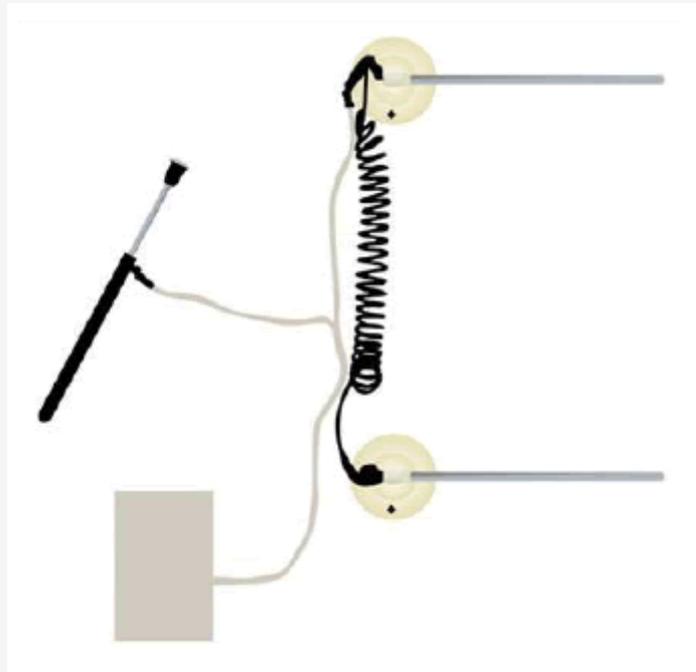


Figura 2. Esquema del sistema de contacto.

Antes de la recopilación de datos, se obtuvieron las mediciones antropométricas (peso y altura). Primero, se estableció una medición estática del rango de movimiento en una máquina de press de pierna (Technogym, SpA Inc., Gambettola, Italia) y los sensores de las barras de hierro se colocaron en los límites inferior y superior utilizando ventosas en vacío (ver Figura

3). A los participantes se les explicó y corrigió la técnica para el ejercicio de press de pierna, según lo descrito por Zatziorsky y Kraemer (2006). El rango de movimiento se ajustó y controló de manera individual por medio de una señal de luz controlada (Chronopic) en el pico más elevado y más bajo de la trayectoria del movimiento. Después de una entrada en calor simple, que incluyó movimientos globales y una familiarización específica con la máquina de prensa de pierna utilizando una carga de 20 kg, se les pidió a los participantes que completaran 3 series de 10 repeticiones utilizando una máquina de prensa de piernas y cargas de 40, 50 y 60 kg, respectivamente, con tanta rapidez como les fuera posible. La utilización de estas cargas específicas permite el desarrollo de la potencia máxima de los sujetos en la máquina de prensa de pierna. Los datos para respaldar esto los proporcionó el entrenador y un encoder lineal con el dispositivo Smartcoach® los midió previamente. El pequeño gancho del sensor de posición se colocó sobre la barra de hierro que fija la carga en la máquina de entrenamiento con sobrecarga y el sensor óptico se colocó sobre el suelo de manera vertical por debajo de la barra de hierro. El tiempo de descanso fue de 3 minutos entre las series, en promedio, mientras que los experimentadores ajustaban la carga y reajustaban los sistemas de medición de datos hasta dejarlos preparados. Cada serie se evaluó a través de ambos sistemas, y los datos de salida del tiempo de contacto y no-contacto del sistema Chronojump se registraron de inmediato en una hoja de cálculo de Microsoft Excel®. El experimento duró 15 minutos por sujeto, en promedio. Después del experimento, los datos de la fase concéntrica de cada repetición de la señal del sistema Biopac se calcularon utilizando el programa Acqnowledge 3.0.9.



Figura 3. El sistema adaptado a una máquina de prensa de piernas.

Análisis de los Datos

En este estudio funcional solo se analizó la validez de la fase concéntrica, ya que una velocidad controlada en una fase excéntrica es una técnica de seguridad para evitar lesiones cuando se trabaja con este tipo de máquinas. En consecuencia, a los participantes solo se les pidió que presionaran con tanta fuerza como les fuera posible durante la fase concéntrica. En primer lugar, los datos de salida del sistema Biopac consistieron en el cambio de posición en un plano vertical (Displ_BS) en metros, la velocidad pico (PV_BS) en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, la velocidad media (MV_BS) en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la duración (Tiempo_BS) en segundos. También se calculó la media de la velocidad promedio de la duración del contacto con el límite superior del punto de tiempo correspondiente al mayor valor del pico de posición. Esto permite establecer el coeficiente asociado con la velocidad media para el tiempo de no-contacto y la distancia pre-medida. Este coeficiente se estableció dividiendo la distancia pre-medida por el tiempo, según lo evaluado por el sistema Chronojump. Después, se utilizaron la velocidad media y la primera mitad del tiempo de contacto para extrapolar la distancia adicional cubierta por las barras de hierro al final de la fase concéntrica. Los datos de salida del sistema Chronojump (CS) consistieron de: La distancia del rango de movimiento pre-medido ($\text{preDispl}_{\text{CS}}$) en m, el tiempo de no-contacto concéntrico ($\text{NCTiempo}_{\text{CS}}$) en segundos y el tiempo de contacto en el límite superior ($\text{CTiempo}_{\text{CS}}$) en segundos.

A fin de calcular el tiempo para toda la fase concéntrica ($\text{Tiempo}_{\text{CS}}$) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo}_{\text{CS}} = [(\text{NCTiempo}_{\text{CS}} + \text{CTiempo}_{\text{CS}})] * 2^{-1}$$

El rango de movimiento estimado (Displ_{CS}), utilizando el sistema Chronojump, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Displ}_{\text{CS}} = \text{preDispl}_{\text{CS}} + [(\text{preDispl}_{\text{CS}} * (\text{NCTiempo}_{\text{CS}} - 1) * (\text{CTiempo}_{\text{CS}} * 2^{-1}))]$$

La velocidad media estimada (MV_{CS}), utilizando el sistema Chronojump, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{MV}_{\text{CS}} = \text{Displ}_{\text{CS}} * (\text{Tiempo}_{\text{CS}})^{-1}$$

Análisis Estadísticos

Para el cálculo de las medias y las desviaciones estándar se utilizaron métodos de análisis estadísticos estándar. Se utilizó una prueba t para muestras dependientes a fin de probar la hipótesis nula de que las mediciones del rango de movimiento del Chronojump y la velocidad media no fueron diferentes a las mediciones del sensor de posición del sistema Biopac. La magnitud de la diferencia se determinó mediante el Tamaño del Efecto (Cohen, 1988). El Tamaño del Efecto se consideró pequeño ($0.2 < TE \leq 0.5$), moderado ($0.5 < TE \leq 0.8$), o grande ($TE > 0.8$) (Nakagawa y Cuthill, 2007). Se llevó a cabo un análisis de correlación a fin de evaluar la relación entre las dos medidas mediante el cálculo de la correlación producto-momento de Pearson. Según el método de Hopkins (2010), a una correlación por encima de 0.90 se la consideró como casi perfecta; entre 0.70 y 0.89, como muy grande; y entre 0.50 y 0.69, como grande. Además, al comparar los sistemas se calculó la regresión lineal para los datos de desplazamiento. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa de estadística SPSS (versión 18,0, SPSS Inc, Chicago, IL). La significancia se aceptó en $p < 0.05$ para todas las pruebas.

RESULTADOS

La media del tiempo de no contacto para todos los levantamientos fue de 0.59 ± 0.06 s (rango, 0.47 a 0.78) y fue la misma para ambos sistemas de medición porque la duración de cada fase concéntrica con el sistema Biopac se controló con un sistema de contacto y se determinó para la escala de tiempo. La distancia media obtenida mediante el sistema Biopac fue de 0.36 ± 0.05 m (rango, 0.25 a 0.47), y la distancia media obtenida mediante el sistema Chronojump fue de 0.35 ± 0.04 m (rango, 0.24 a 0.43). La velocidad media obtenida mediante el sistema Biopac fue de 0.61 ± 0.07 m·s⁻¹ (rango, 0.43 a 0.85), y la velocidad media obtenida mediante el sistema Chronojump fue de 0.59 ± 0.06 m·s⁻¹ (rango, 0.43 a 0.76). El Error Estándar de Medición (EEM) varió de 0.001 a 0.002 para todas las cargas. La validez de las mediciones de distancia y velocidad utilizando el sistema Biopac con sensores de posición y el sistema Chronojump están expresadas con límites de confianza del 95%. El ES fue de 0.18 en la distancia global (desplazamiento) y de 0.14 en la velocidad, y varió de 0.09 a 0.31 y de 0.07 a 0.34, respectivamente (Tabla 1). El valor de r derivado del análisis de correlación entre el sistema Biopac y el sistema de contacto Chronojump fue de > 0.94 para todas las mediciones de distancia y velocidad en todas las cargas ($p < 0.01$). La ecuación de regresión lineal de la relación entre los desplazamientos evaluados por ambos métodos (Figura 4) fue: $y = 0.916x + 0.020$

DISCUSIÓN

El principal hallazgo fue la elevada validez del cálculo de desplazamiento y velocidad por medio del sistema Chronojump y los valiosos datos de precisión en comparación con los datos de criterio del sistema Biopac con el sensor de posición. El valor del tiempo de no-contacto de ambos dispositivos fue el mismo porque el sistema de contacto también estaba conectado al sistema Biopac a través de un canal digital. Esta conexión permite determinar el punto exacto de contacto junto con los parámetros de posición y velocidad en el sistema Biopac. El cálculo de velocidad y distancia promedio a través del sistema Chronojump no difirió de manera significativa con respecto a los criterios seleccionados para todas las cargas una vez establecidas las diferencias por pares. Además, cuando se tuvo en cuenta la correlación de tamaño del efecto, se halló una pequeña magnitud en la diferencia (Cohen, 1988) para ambos parámetros en todas las cargas (Tabla 1). De acuerdo con estos datos, Jandacka y Vaverka (2009) hallaron valores similares del tamaño del efecto cuando compararon los datos de la velocidad del sistema fotogramétrico Qualysis y el sistema dinamométrico en un ejercicio de press de banca. Concretamente, reportaron un ES de 0.35 para la carga más liviana evaluada (18 kg) y un ES de 0.05 para la carga más pesada evaluada (47.7 kg). En este sentido, los datos de correlación reportados en el presente estudio confirman la validez del sistema Chronojump, pues todas las correlaciones fueron ≥ 0.94 . Estos valores se podrían

considerar como un reflejo de la similitud de ambos sistemas. Drinkwater et al. (2007) obtuvieron correlaciones producto-momento de Pearson mayores a 0.97 en un estudio de validez de producción de potencia en press de banca. También reportaron coeficientes de variación $\leq 3\%$ para la producción de potencia en todos los movimientos. Además, Buscà y De Blas (2008) reportaron valores de correlación ≥ 0.96 para la velocidad promedio entre el sistema Musclelab y otro sistema de contacto Chronojump. Asimismo, reportaron valores similares para otros parámetros cinemáticos incluyendo el tiempo, el desplazamiento y la producción de potencia.

Parámetro	Diferencias por pares			Intervalo de confianza del 95% de las diferencias medias				
	M	DE	SEM	Menor	Mayor	Valor de t	df	Significancia
Distancia 40kg	-0.007	0.014	0.001	-0.010	-0.004	-4.83	86	0.000
Distancia 50kg	0.015	0.011	0.001	0.012	0.017	11.30	77	0.000
Distancia 60kg	0.031	0.013	0.001	0.028	0.035	21.00	75	0.000
Velocidad 40kg	-0.012	0.024	0.002	-0.017	-0.007	-4.76	86	0.000
Velocidad 50kg	0.027	0.020	0.002	0.022	0.031	11.81	77	0.000
Velocidad 60kg	0.056	0.019	0.002	0.051	0.060	24.81	75	0.000
Distancia global	0.012	0.020	0.001	0.009	0.014	9.19	242	0.000
Velocidad global	0.022	0.035	0.002	0.017	0.026	9.66	242	0.000

Tabla 1. Validez del sistema Chronojump, en comparación con el sistema Biopac, y los cálculos de distancia y velocidad ($n=10$) del encoder lineal (medición de criterio).

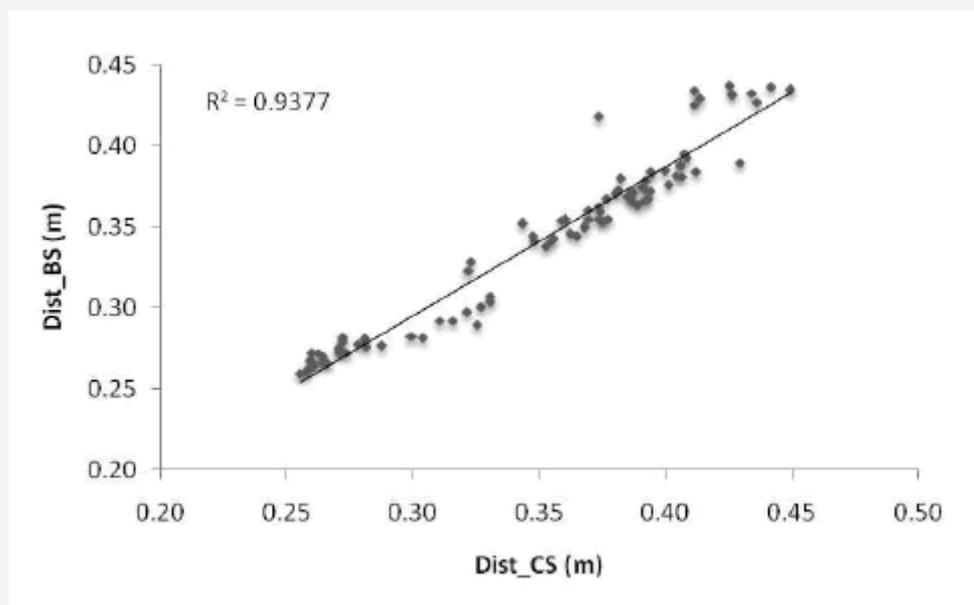


Figura 4. Relación entre las distancias medidas por ambos métodos.

El principal problema que detectaron Buscà y De Blas (2008) en el sistema de contacto fue la rigidez de los sensores. Esta rigidez dio como resultado un cálculo deficiente del desplazamiento y, en consecuencia, valores de correlación más bajos en comparación con el sistema de criterio. Los autores concluyeron que la inclusión de un sensor más fiel mejoraría el cálculo de desplazamiento y de ese modo justificaría la validación del nuevo sistema de contacto para evaluar la velocidad de desplazamiento en una máquina de entrenamiento con sobrecarga o en una barra de peso libre. En este sentido, la mayor fidelidad ofrecida por las ventosas en vacío mejoró la sensibilidad del sistema, pues el tiempo de contacto hasta las barras de hierro de límite superior se tomó en cuenta para la estimación del desplazamiento. Por lo tanto, el valor de regresión lineal es mejor ($R^2 = 0.93$ reportados en el presente estudio) con respecto al sistema menos fiel ($R^2 = 0.85$ en el

citado estudio). La mayor fidelidad es una característica valiosa de otros sistemas basados en codificadores ópticos, incluyendo el Gymaware (Tecnología del Rendimiento Cinético, Mitchell ACT, Australia) y el Muscledlab (Ergotest Technology A. S., Langensund, Noruega). Sin embargo, el alto costo de estas tecnologías impide que los entrenadores puedan acceder a ellas con regularidad tanto para el entrenamiento y como para las evaluaciones.

Con respecto a las mayores diferencias inter-sistema en el desplazamiento y la velocidad con cargas mayores, pueden ser consecuencia del protocolo de estática de ROM pre-medido. A los participantes se les pidió que permanecieran inmóviles durante 3 segundos aproximadamente para poder establecer la posición exacta de la barra de hierro en su límite superior. Con cargas más pesadas, los participantes pueden ser menos precisos en mantener la posición inmóvil durante el tiempo necesario para que el examinador determine el límite superior. No obstante, a pesar del hecho de que la magnitud de las diferencias inter-sistema ya era pequeña, este factor debería tenerse muy en cuenta durante el protocolo de prueba.

La practicidad del nuevo sistema parece representar una elección útil para los entrenadores y los atletas. El bajo costo de los sensores, junto con la disponibilidad del sistema, permite la utilización del Chronojump durante las sesiones de entrenamiento con sobrecarga en todos los deportes. Usando el sistema, los entrenadores y los atletas pueden evaluar estos factores fundamentales para controlar la velocidad, el trabajo y la potencia de cada repetición, y obtener observaciones en tiempo real para estos parámetros. Para el cálculo de la potencia, debería tenerse en cuenta la dinámica y la cinemática del movimiento del miembro para un ejercicio determinado, según lo sugirieron Jandačka y Vaverka (2009). Por esta razón, el programa Chronojump (versión 0.9) solo proporciona el tiempo y la velocidad promedio para la distancia pre-establecida, pero no valores de potencia. Además, las observaciones de la velocidad las proporciona el programa Chronojump a través de intervalos pre-establecidos de velocidad para mover las cargas en el entrenamiento con sobrecarga, como es característico de los sistemas mencionados en algunos de sus estudios de validez: Ergopower (Bosco, 1995), Muscledlab (Amonette et al., 2003) y Gymaware (Cronin et al., 2004). Estas observaciones consisten en una señal acústica que proporciona información sobre el ajuste del atleta en un cierto rango de velocidad programado por el entrenador y basado en los datos de prueba de la velocidad pico para cada ejercicio en el entrenamiento con sobrecarga.

CONCLUSIÓN

En conclusión, el sistema de contacto Chronojump es una herramienta válida para evaluar la velocidad de desplazamiento en una máquina de entrenamiento con sobrecarga. La fidelidad del sistema y su versatilidad facilitan la simplicidad de su uso en cualquier máquina de entrenamiento con sobrecarga. El hardware y el programa cumplen con los estándares de licencia abierta y podrían representar una solución sin costo para los entrenadores de fuerza y acondicionamiento, los profesores de educación física y los atletas. No obstante, es necesario que se realicen más investigaciones para que se convierta en un dispositivo útil para las sesiones de entrenamiento con sobrecarga. El sistema con la intervención de las ventosas en vacío podrían probarse en un press de banca con barra de peso libre o en cualquier ejercicio de desplazamiento vertical. Para este propósito, es necesario diseñar un panel para fijar correctamente las ventosas en vacío. Además, el protocolo de prueba podría repetirse con otras máquinas de entrenamiento con sobrecarga para determinar la validez del dispositivo en otros tipos de movimientos. También, los datos obtenidos por el sistema Chronojump podrían confrontarse con un análisis fotogramétrico utilizando cámaras de video de alta velocidad y otros dispositivos basados en codificadores disponibles en el mercado.

Puntos Clave

- La evaluación de la velocidad en las máquinas con sobrecarga es una fuente de información valiosa para el entrenamiento de fuerza.
- Muchos sistemas comerciales utilizados para evaluar la velocidad, la potencia y la fuerza son costosos, impidiendo de ese modo el uso generalizado por parte de entrenadores y atletas.
- El sistema apunta a ser un dispositivo de bajo costo para evaluar y controlar la velocidad ejercida en cada repetición en cualquier máquina de entrenamiento con sobrecarga.
- El sistema podría adaptarse con facilidad en cualquier ejercicio con barra de desplazamiento vertical.

Agradecimientos

Para este trabajo no se recibió ningún tipo de financiación de parte de ninguna organización y los autores no tienen conflictos de interés que tengan relación directa con el contenido de este artículo. Se expresa un reconocimiento al esfuerzo de los colaboradores de Chronojump, en especial al trabajo de Xavier De Blas.

REFERENCIAS

1. Adams, G.R., Cheng D.C., Haddad, F. and Baldwin, K.M (2004). Skeletal muscle hypertrophy in response to isometric, lengthening, and shortening training bouts of equivalent duration. *Journal of Applied Physiology* 96, 1613-1618
2. Amonette, W.E., Casperson, S., Bentley, J., DeWitt, J.K., Garcia, Y. and Williams, M.A (2003). Evaluation of the MuscleLab Power Testing System using bench press and leg press exercise (ROI_MusLab). *Nasa Report* 12
3. Bosco, C (1995). Evaluation and control of basic and specific muscle behavior. *Exercise & Society Journal of Sport Science* 10, 10-29
4. Buscà, B. and De Blas, X. (2008). A new low-cost gadget design to measure weight bar velocity in a bench press using Chrono-jump. *In: Book of abstracts 13th Annual Congress of ECSS, Estoril, Portugal 9-12 July.* 443
5. Cohen, J (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. *Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates*
6. Cormie, P., McBride, J.M. and McCaulley, G.O (2007). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of Applied Biomechanics* 2, 103-118
7. Cronin, J.B., McNair, P.J. and Marshall, R.N (2002). Is velocity-specific strength training important in improving functional performance?. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 42, 267-273
8. Cronin, J.B., Hing, R.D. and McNair P.J (2004). Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18, 590-593
9. De Blas, X. and González-Gómez, J. (2005). Proyecto Chronojump: Sistema de Medida de la Capacidad de Salto usando Software y Hardware Libres. *Actas I Congreso de Tecnologías del Software Libre.* 223. (In Spanish)
10. De Blas, X. and González-Gómez, J. and Gómez, R. (2009). Validity of new chronopic V.3 open hardware to measure time on jump related tests. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 41 (Suppl. 1), 61
11. De Villarreal, E.S., Kellis, E., Kraemer, W.J. and Izquierdo, M (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23, 495-506
12. Drinkwater, E.J., Galna, B., McKenna, M.J., Hunt, P.H. and Pyne, D.B (2007). Validation of an optical encoder during free weight resistance movements and analysis of bench press sticking point power during fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21, 510-517
13. Hopkins, W.G (2010). A scale of magnitudes for effect statistics. *Sportscience.* Available from URL: <http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>. Accessed 12/9/2010
14. Hutchison, A.T. and Stone, A.L (2009). Validity of alternative field system for measuring vertical jump height. *Journal of Exercise Physiology Online* 12, 6-11
15. Izquierdo M., Häkkinen K., Gonzalez-Badillo J., Ibáñez J. and Gorosti-aga E.M. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *European Journal of Applied Physiology* 87, 264-271
16. Janda, D. and Vaverka, F (2009). Validity of mechanical power output measurement at bench press exercise. *Journal of Human Kinetics* 21, 33-43
17. Leard, J.S., Cirillo, M.A., Katsnelson, E., Kimiatek, D.A., Miller, T.W. and Trebincevic, K (2007). Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21, 1296-1299
18. Nakagawa, S. and Cuthill, I.C (2007). Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. *Biological Reviews Cambridge Philosophical Society* 82, 591-605
19. Wang, Y.T., Cheng, S., Limroongreungat, W. and Change, L.S (2005). Contributions of selected fundamental factors to wheelchair basketball performance. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 37, 130-137
20. Wernbom, M., Augustsson, J. and Thomeé, R. (2007). The Influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Medicine* 37, 225-264
21. Zatsiorsky, V.M. and Kraemer, W.J (2006). Science and practice of strength training. *Champaign, Ill.: Human Kinetics*

Cita Original

Bernat Buscà and Anna Font. A Low-Cost Contact System to Assess Load Displacement Velocity in a Resistance Training Machine. *Journal of Sports Science and Medicine* (2011) 10, 472 - 477