



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2015/2016

RELACIÓN CARGA-VELOCIDAD EN EL PRESS BANCA
COMPARANDO DIFERENTES HERRAMIENTAS DE MEDIDA

Load-speed on the bench press comparing different measuring tools

Autor: Carlos Andrés Villoria

Tutores: José A. Rodríguez Marroyo

Fecha: 28/07/2016

VºBº TUTOR

VºBº AUTOR

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
2. Objetivos	9
3. Metodología	10
3.1 Sujetos.....	10
3.2 Instrumentación.....	10
3.3 Diseño experimental.....	10
3.4 Test realizados	11
3.5 Análisis estadístico	11
4. Resultados	13
5. Discusión	21
6. Limitaciones	23
7. Estudios futuros	24
8. Conclusiones.....	25
9. Bibliografía	26

RESUMEN

La fuerza es un factor esencial para la actividad física, especialmente en rendimiento deportivo de la mayoría de los deportes. En la programación del entrenamiento de fuerza la combinación de variables como el volumen, la intensidad, la densidad, o el descanso, nos marcarán la mejora (evolución, mantenimiento o estancamiento, incluso involución) en el rendimiento. Para ello se hace necesario la evaluación y control de las cargas periódicamente. La velocidad de ejecución (velocidad media propulsiva) es el componente idóneo para el cálculo de la intensidad en el entrenamiento de la fuerza. Es por este motivo que la pretensión de este estudio fue comparar las herramientas (transductor lineal de posición y velocidad y app barsense) para la valorar la relación de la carga (% RM) y la velocidad media propulsiva (VMP) en el ejercicio de press banca. 14 sujetos realizaron 3 test de carga progresiva hasta una repetición máxima calculo 1RM, encontrando diferencias significativas en la comparativa de ambos métodos de medida, además con barsense se encontraron relaciones sólo en cargas de 30-75% de 1RM. A esto debemos añadir que barsense sobreestima la velocidad en la medición en $0.38 \pm 0.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ por lo que no es un método fiable para analizar un grupo de sujetos. Por otro lado el encoder si fue un método fiable cuando se obtuvo la ecuación de toda la muestra en sus mediciones. A pesar de estas discordancias cuando se obtuvo la ecuación individual de cada sujeto se dedujo que se podían extraer datos con los que calcular el 1RM con la velocidad media propulsiva de cualquier carga submáxima en ambos instrumentos siempre que estos se realizaran con el mismo método de medida.

Palabras clave: Fuerza, Evaluación, Velocidad de ejecución, 1RM, Press Banca.

ABSTRACT

Strength is an essential factor for physical activity, especially in athletic performance of most sports. In programming strength training combining variables such as volume, intensity, density, or rest, we marked improvement (evolution, maintenance or stagnation, even regression) in performance. It becomes necessary to do the evaluation and control of the loads periodically. Execution speed (average speed propulsive) is the ideal component for calculating the intensity in strength training. It is for this reason that the aim of this study was to compare the tools (linear position transducer and speed and app barsense) to assess the relationship of the load (% RM) and average speed propulsive (VMP) in the exercise of press banking. 14 subjects performed 3 tests progressively to a maximum repetition load calculation 1RM, finding significant differences in the comparison of both measurement methods, along with barsense relations were found only in loads of 30-75% 1RM. To this we must add that barsense overestimates the speed measuring $0.10 \pm 0.38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ so it is not a reliable method for analyzing a group of subjects. On the other hand the encoder was a reliable method when the equation for the whole sample in their measurements was obtained. Despite these disagreements when individual equation of each subject was obtained it was concluded that they could extract data with the 1RM calculate the average speed propulsive any submaximal load on both instruments provided that these are carried out with the same method of measurement .

Keywords: Strength, evaluation, execution speed, 1RM Bench Press

1. INTRODUCCIÓN

La fuerza es la cualidad física básica más determinante en el rendimiento deportivo, por ello, cada vez son más los estudios sobre el entrenamiento y desarrollo de la fuerza tanto en el ámbito de rendimiento como en el ámbito de la salud. El desarrollo de la fuerza mediante un programa correctamente ejecutado influirá directamente en la mejora del rendimiento. La fuerza es definida dentro del ámbito deportivo según González JJ et al. (1) “como la capacidad de producir tensión que tiene el músculo al activarse o, como se entiende habitualmente, al contraerse”.

Desde el punto de vista de la mecánica la fuerza “es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo” como señalan González JJ et al. (2).

Por tanto desde el punto de vista de la mecánica “la fuerza muscular, como causa, sería la capacidad de la musculatura para deformar un cuerpo o para modificar la aceleración del mismo: iniciar o detener el movimiento de un cuerpo, aumentar o reducir su velocidad o hacerle cambiar de dirección” según González JJ et al. (2)

Como definen González JJ et al. (2) “la fuerza desde el punto de vista de la fisiología se entiende como la capacidad de producir tensión que tiene el músculo al activarse”.

Entendemos pues que la fuerza desde el punto de vista de la mecánica es algo externo, observable que es producido por la acción muscular, la inercia o la acción de la gravedad, y la fuerza desde el punto de vista fisiológico es algo interno, es la tensión generada por el músculo, pudiendo tener relación con un objeto externo o no.

Dentro de la diversidad de tipos de fuerza que nos encontramos y sus manifestaciones debemos explicar un concepto importante, la **fuerza explosiva** la cual según González JJ et al. (1,2) “es el resultado de la relación entre la fuerza producida (manifestada o aplicada) y el tiempo necesario para ello”. Con respecto a ella, encontramos la relación de la fuerza tiempo expresada como curva fuerza-tiempo (C f-t) y la relación fuerza velocidad expresada como curva fuerza-velocidad (C f-v). La C f-t se utiliza para mediciones estáticas y dinámicas mientras que la C f-v se utiliza sólo para mediciones dinámicas aunque podamos incluir un punto más en ella, con velocidad cero y fuerza máxima isométrica. Los datos recogidos en la C f-t o C f-v son dos puntos a tener en cuenta en la planificación y el control del entrenamiento de la fuerza, ya que la velocidad con la que movamos una resistencia en menos tiempo o la posibilidad de generar más fuerza en el mismo tiempo dictaminarán la mejora de la fuerza aplicada o fuerza útil definida por González JJ et al. (2) como “la fuerza que se produce a la velocidad específica y el tiempo

específico del gesto de competición”, la cual debe ser nuestro principal objetivo de mejora en el rendimiento deportivo.

En el rendimiento deportivo **la valoración** de la fuerza adquiere gran transcendencia si tenemos en cuenta que de ella dependen muchos aspectos fundamentales en el entrenamiento, entre ellos podemos destacar el componente dinámico de la calidad técnica. La utilización de las cargas ya sea negativa, bien por cargas excesivas o bien por cargas inútiles, o positiva, será determinante en el desarrollo de la fuerza específica lo que provocará una distorsión en la técnica o una correcta ejecución de la misma.

“El conjunto de exigencias biológicas y psicológicas (carga real, llamada generalmente carga interna) provocadas por las actividades de entrenamiento (carga propuesta, llamada generalmente carga externa) es lo que entendemos como **carga de entrenamiento**” (2). Los componentes de la carga de entrenamiento se dividen en cuantitativos (volumen: duración de la carga, frecuencia de entrenamientos, número de sesiones) y cualitativos (intensidad y densidad).

Para el control y valoración en el entrenamiento de fuerza debemos prestar especial atención a la **magnitud de la carga**, compuesta por la intensidad, se puede definir ésta misma como el grado de esfuerzo que exige un ejercicio en cada repetición. El esfuerzo es entendido como la demanda al organismo (carga real) de tipo fisiológica, mecánica, técnica y emocional en cada repetición, por tanto expresa la intensidad y está determinado por la relación entre lo realizado y lo realizable (2).

El carácter del esfuerzo es por tanto el marcador más exacto para determinar la intensidad de trabajo puesto que cuando lo comparamos con otros marcadores de intensidad como el cálculo del 1RM (denominado RM o repetición máxima indistintamente) observamos que es más preciso. Esto es debido a que cuando programamos un entrenamiento cada % de RM tiene asociado un número máximo de repeticiones máximas (80% = 5 repeticiones máximas dependiendo del ejercicio), si la carga de una sesión no queremos que sea máxima y prescribimos series de 3 repeticiones al 80%, y el sujeto realiza las repeticiones marcadas pero por las circunstancias (fatiga, psicológicas, motivación) puede que esté realizando esas 3 repeticiones sin margen para realizar 2 repeticiones más y en ese caso estaría trabajando con un carácter del esfuerzo máximo y completaría el entrenamiento sin que nos percatemos que está trabajando por encima de la intensidad objetivo.

Podemos calcular la magnitud de la carga en un ejercicio a través del **1RM o repetición máxima**, el cual es definido por Baechle et al. (3) como “el peso que podemos

desplazar una sola vez con una técnica adecuada” este RM se puede medir directamente, mediante el 1RM o de manera indirecta estimando el RM mediante el 3, 5, 8RM.

El % del 1RM es el método más utilizado para calcular y determinar la magnitud de la carga en el entrenamiento de fuerza, éste método ofrece una serie de ventajas como programar el entrenamiento de muchos sujetos al mismo tiempo, conocer los % máximos a los que debemos llegar en cada entrenamiento o tener un control y seguimiento de la evolución de la magnitud de la carga en el proceso de entrenamiento. Sin embargo éste método también implica unos inconvenientes ya que la medición del RM en sujetos jóvenes o con poca experiencia en el entrenamiento de fuerza no está aconsejada, puesto que la falta de técnica o el miedo a cargas altas hacen de éste un método no fiable, además esto podría implicar un riesgo alto de lesión. Otra desventaja que tiene éste método y quizá una de las más a tener en cuenta es que el RM cada día puede variar por causas como fatiga, estado anímico, modificaciones del material de entrenamiento, etc. Incluso dentro de cada sesión y de cada serie la RM puede variar. Es por este motivo que la carga programada para ese día no coincida con la carga real que está siendo soportada (2).

Todos éstos inconvenientes se pueden solventar si utilizamos como método de medición la **velocidad de ejecución**. Esto lo entendemos porque cada intensidad (%RM) tiene su propia velocidad máxima en fase concéntrica, (4). De este modo podremos calcular a qué % de RM corresponde un peso submáximo y determinar así nuestra repetición máxima.

La velocidad nos va a permitir evitar la fatiga de llegar al fallo tanto en métodos indirectos (3, 5, 8RM) como con el método directo (1RM), podremos medir nuestro RM con mayor frecuencia sin acumular fatiga y sin tener que ajustar nuestra programación, del mismo modo podremos evaluar nuestro progreso mediante nuestros levantamientos ya planificados y así programar la carga óptima para cada sesión.

La velocidad de ejecución fue propuesta por González JJ en 1991 como mejor grado de intensidad en el entrenamiento de fuerza, pero fue en 2010 cuando se demostró una estrecha relación entre la carga relativa (% 1RM) y la velocidad propulsiva media (VMP) a la que se moviliza dicha carga, asimismo se observó que tras un período de entrenamiento con una mejora en el rendimiento físico cada % de la RM estuvo asociado al mismo valor de VMP anterior al periodo de entrenamiento. Estos hallazgos permitieron concluir que independientemente del nivel de los sujetos, y a pesar de las variaciones en el rendimiento, cada porcentaje de la RM tiene un valor de VMP asociado (4,5,6). A raíz de estos datos Sánchez L y González JJ en 2011 (7) realizan un estudio sobre la pérdida de velocidad dentro de una sesión o de una serie para cuantificar la carga en el entrenamiento

controlando la fatiga en cada sesión. Este método de trabajo puede ser actualmente uno de los más eficientes para cuantificar las cargas y dar la posibilidad de grandes mejoras en el rendimiento de los atletas.

La herramienta utilizada para la medición de la velocidad fue el **transductor lineal de posición y velocidad** (también denominado encoder). Un transductor lineal es un dinamómetro, el cual realiza una medición directa y continua del espacio recorrido y el tiempo de movimiento de una carga externa conocida. Dispone de un software que nos da en tiempo real datos como la potencia, trabajo mecánico, la propia velocidad, etc. (4).



Ilustración 1. Transductor lineal de posición y velocidad T-Force

Este dispositivo está considerado una herramienta útil y fiable para el control y la valoración del rendimiento en el entrenamiento de fuerza (8), pero uno de sus inconvenientes es su alto precio en el mercado, los precios oscilan desde los 500 euros hasta los 3000 euros aproximadamente. No cabe duda la enorme aplicabilidad que puede tener un encoder para medir la velocidad de nuestros levantamientos y poder calcular de nuestro % de 1RM sin necesidad de sufrir las consecuencias que conlleva realizar un test de 1RM de forma directa o indirecta, pero disponer de un encoder no está al alcance de todos. Existen alternativas más económicas para medir la velocidad de los levantamientos, algo muy interesante para entrenadores de campo que no pueden disponer de tecnología como el encoder, o incluso para el propio atleta. Estamos hablando de acelerómetros o análisis de video (kinovea, tracker, etc) con el cual podemos medir la distancia recorrida por la barra en un tiempo determinado y así obtener la velocidad, pero tiene el inconveniente de tener que disponer de un ordenador portátil para el análisis. Sin embargo esto mismo lo podemos solventar si utilizamos aplicaciones de Smartphone (liza, barsense, myjumpapp, powerliftapp), entre ellas vamos a destacar barsense ya que es la app utilizada en el estudio para medir la velocidad de los levantamientos del ejercicio de press banca.

Barsense es una aplicación disponible para dispositivos Android (en el futuro también estará disponible para iOS) que analiza (vídeo) los levantamientos olímpicos o ejercicios multi-articulares obteniendo la velocidad media, velocidad máxima,

desplazamiento de la barra y fuerza (N) en cada levantamiento. Para el correcto análisis, en el ejercicio (press banca, sentadillas, arrancada, cargada...) deben utilizarse pesas de tamaño olímpico ya que la app tiene introducida como referencia el diámetro de un disco olímpico (50cm) en una circunferencia, con esta distancia y el tiempo que tarda en realizar el levantamiento el sujeto, la app calcula la velocidad.

Barsense puede cargar video de la galería o directamente ir a la cámara para grabar video, posteriormente introducimos los datos para registrar el levantamiento (peso, nombre archivo) y hacemos coincidir la circunferencia del disco olímpico con la circunferencia marcada en la imagen del inicio del vídeo como se muestra en la Ilustración 2. Una vez introducidos esos datos tenemos el video con el seguimiento de la barra y tan solo debemos recortar el video en la fase que nos interesa, la fase propulsiva desde el punto más bajo donde se ubica la barra, hasta la extensión completa de brazos. Barsense ofrece el valor medio y valor pico de la velocidad, fuerza, potencia, desplazamiento horizontal y desplazamiento vertical de la barra.

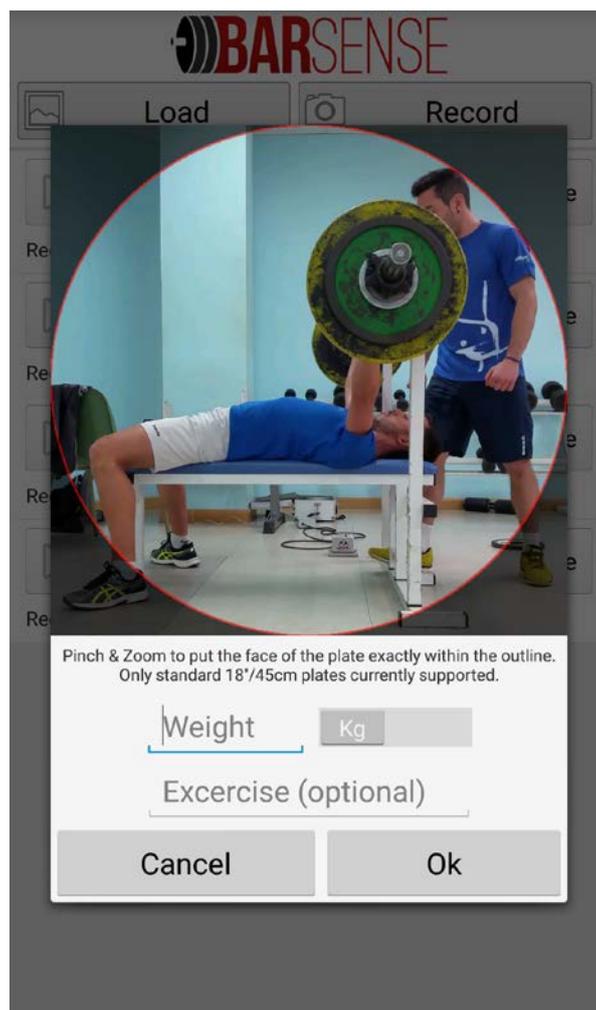


Ilustración 2. App barsense para análisis de video.

Para el correcto análisis debemos medir desde una posición lateral en la que se vea la posición de los discos en todo momento. Se realiza sólo el análisis de la fase concéntrica, siguiendo la trayectoria de la barra desde la posición inicial de la fase concéntrica hasta la posición final de la misma, y tomaremos como medida la velocidad media propulsiva.

Una vez expuesto las características de cada una de las herramientas de medida que vamos a utilizar en el presente estudio podemos enumerar una serie de ventajas e inconvenientes proporcionados por cada uno de ellos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes que nos ofrece cada herramienta de medida.

	Ventajas	Inconvenientes
Encoder	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alto grado de precisión y fiabilidad. ▪ Evalúa la fuerza sin necesidad de usar cargas máximas. ▪ Gran cantidad de datos de calidad. ▪ Software específico para el análisis y la obtención de datos. ▪ Utilización en la mayoría de estudios científicos de los últimos años. ▪ Validados en estudios científicos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Importante establecer un buen protocolo de medición. ▪ Instrumentación más aparatosa. ▪ Precio de compra elevado. ▪ Relativa fragilidad del cable y del instrumental.
Barsense	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Económico. ▪ Evalúa la fuerza sin necesidad de usar cargas máximas. ▪ Práctico y sencillo en su utilización. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fiabilidad y validez sin demostrar. ▪ Mayor exposición al error técnico de medida. ▪ Solo disponible para Android.

2. OBJETIVOS

A colación de la planteado anteriormente y de los conceptos sobre el análisis de la velocidad en la fase propulsiva que se trataron en varios estudios (5,6,7), los objetivos principales de este estudio fueron comprobar la relación entre la carga relativa (% RM) y la velocidad propulsiva media (VMP) en el ejercicio de empuje horizontal (press banca) utilizando como métodos de medición el transductor lineal de posición y velocidad y la app barsense para sistema Android y establecer una comparativa entre ambas. De este modo dilucidar la posibilidad de utilizar la app barsense como método fiable de valoración y control de la carga de entrenamiento mediante la velocidad de ejecución.

3. METODOLOGÍA

3.1 Sujetos

En el estudio participaron 14 sujetos (edad: 24 ± 6 años, peso: 73 ± 20 kg, talla: 174 ± 19 cm) voluntarios con experiencia en el entrenamiento de fuerza que va desde los 3 meses hasta los 5 años. Dentro de la muestra encontramos sujetos con buena técnica y sujetos con más limitaciones con respecto a ésta. Los sujetos practicaban deportes de forma recreacional o en algunos casos deporte federado amateur (baloncesto, fútbol, pádel, tenis, jockey).

3.2 Instrumentación

En la fase experimental fueron usados un transductor lineal y software (T-Force), un ordenador portátil (Asus M51V), ambos para la recogida de datos de los levantamientos, un teléfono móvil (Samsung note4) para la grabación de los levantamientos, y una aplicación de Android (barsense) para el análisis de los levantamientos. El material de gimnasio estaba compuesto por barra y discos olímpicos, así como banco con rack para realizar el ejercicio de press banca.

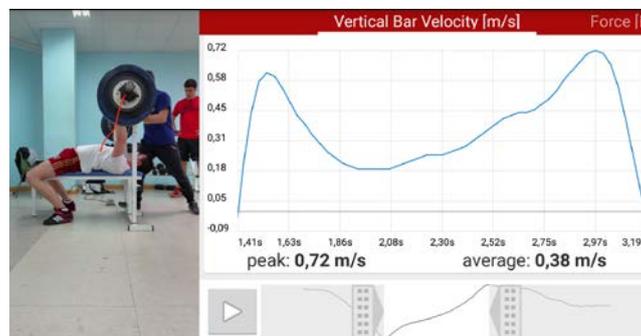


Ilustración 3. Análisis del levantamiento con barsense.

3.3 Diseño Experimental

El estudio fue dividido en 3 test de 1RM. Los sujetos acudieron al gimnasio 3 veces para realizar los test con un periodo de 7-10 días entre cada test. Cada sesión tuvo una duración de 60 minutos incluyendo calentamiento y realización del test.

En el primer test se realizaron mediciones de la VMP y velocidad máxima (VM) en cargas de 20-100% de 1RM, utilizando el encoder y la grabación de móvil para ser

posteriormente analizado con Barsense. En los test 2 y 3 se realizó mediciones de la VMP y VM en cargas de 70-100% de 1RM recogiendo los datos con encoder y dispositivo móvil.

3.4 Test realizados

Para la realización de los test los sujetos realizaban un calentamiento previo que consistía en una primera fase de elevación de la temperatura corporal mediante la bicicleta estática o carrera continua (5min). Posteriormente los sujetos desarrollaban un calentamiento articular dirigido, para finalmente ejecutar la fase de activación neuromuscular que consistía en ejercicios pliométricos como saltos, flexiones explosivas y repeticiones explosivas con cargas ligeras en el ejercicio de press banca. Iniciaban el test en 20kg de carga subiendo 10 kg cada serie hasta que la velocidad en la fase propulsiva baja de 0,5, posteriormente el aumento de peso se hace con cargas más pequeñas en cada serie (5-2,5kg) d forma individual para cada sujeto. Cuando la velocidad propulsiva era mayor que 1m/s los sujetos realizaban 3 repeticiones por serie, para velocidades entre 1-0,65 los sujetos realizaban 2 repeticiones y cuando la velocidad era menor de 0,65 realizaban una única repetición.



Ilustración 4. Realización de una serie durante uno de los test.

3.5 Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (SD). Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de la muestra. La relación entre carga (% 1RM) y velocidad se estudió ajustando los datos a una función polinomial de segundo grado. El error estándar de la estimación (SEE) fue calculado para cada función. Las

diferencias en las velocidades medidas fueron analizadas usando una ANOVA de dos vías (método de medida (encoder vs. barsense) × test (test 1 vs. test 2)). Las diferencias significativas entre medias fueron establecidas usando el test de Bonferoni. Los resultados obtenidos usando la función obtenida con cargas entre el 20-100% 1RM y el 50-100% 1RM con el encoder fueron comparados usando una prueba *t* de Student para muestras relacionadas. Esta misma prueba fue usada para comparar las funciones obtenidas con el encoder y barsense y entre el test 1 y 2 en ambos métodos de medida. Las relaciones entre ambos métodos de medida fueron evaluadas usando el coeficiente de correlación de Pearson (*r*). La fiabilidad y concordancia entre medidas fue evaluada usando el coeficiente de correlación intraclass (ICC). La fiabilidad absoluta se calculó por medio del error típico de medida (TE) y el coeficiente de variación (CV; TE expresado como un porcentaje). La magnitud del ICC fue evaluada atendiendo al siguiente criterio: 0, pobre; 0.01-0.20, leve; 0.21-0.40, regular; 0.41-0.60, moderado; 0.61-0.80, substancial y 0.81-1.00, casi perfecto. Valores de $p < 0.05$ fueron considerados como estadísticamente significativos. El software estadístico SPSS+ v.19.0 fue usado para este análisis.

4. RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran la relación entre la carga relativa y la velocidad propulsiva media en el test 1 y 2 utilizando el encoder como método de medida. La R² media obtenida cuando se ajustó individualmente la relación fue de R²=0.98±0.02 (IC 95%, 0.97-0.99) y R²=0.98±0.01 (IC 95%, 0.98-0.99) en el test 1 y 2, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre las funciones obtenidas en ambos test.

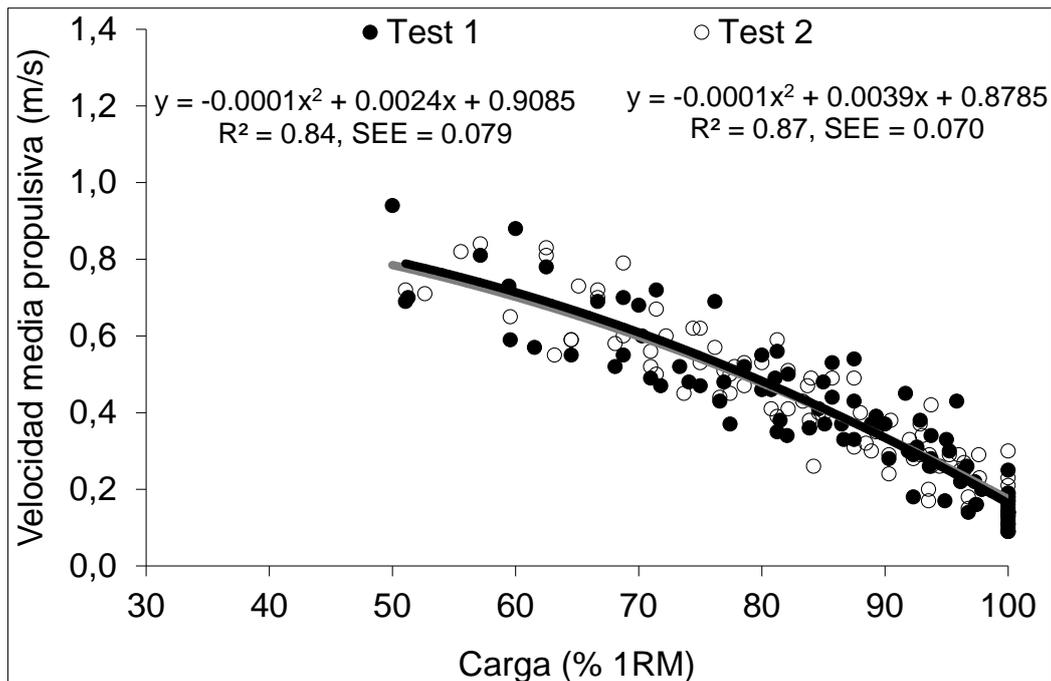


Figura 1. Relación carga (%1RM)-velocidad propulsiva media medida con el encoder durante el test 1 y 2. SEE, error estándar de la estimación.

En la tabla 2 se muestran los valores analizados en el test 1 y 2 con las funciones obtenidas en función de diferentes porcentajes de la 1RM. A pesar de no obtener diferencias significativas entre las velocidades medidas, se obtuvieron bajos ICC y altos TE y CV.

Tabla 2. Velocidad propulsiva media (MVP) alcanzada en cada porcentaje de 1RM usando el encoder como método de medida.

Carga (%1RM)	Test 1		Test 2		ICC	TE	CV (%)
	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%			
30	0.84 ± 0.36	0.61 – 1.07	0.98 ± 0.32	0.78 – 1.17	0.36	0.31	33.7
35	0.83 ± 0.31	0.64 – 1.03	0.94 ± 0.27	0.78 – 1.11	0.36	0.26	29.2
40	0.81 ± 0.26	0.65 – 0.98	0.91 ± 0.22	0.77 – 1.04	0.36	0.22	25.3
45	0.79 ± 0.22	0.65 – 0.93	0.87 ± 0.19	0.75 – 0.98	0.38	0.18	21.9
50	0.76 ± 0.19	0.64 – 0.88	0.82 ± 0.16	0.72 – 0.92	0.41	0.15	19.2
55	0.72 ± 0.16	0.62 – 0.82	0.77 ± 0.14	0.69 – 0.86	0.47	0.13	17.2
60	0.68 ± 0.15	0.59 – 0.77	0.72 ± 0.13	0.64 – 0.80	0.52	0.11	16.1
65	0.63 ± 0.14	0.54 – 0.72	0.66 ± 0.13	0.58 – 0.74	0.56	0.10	16.2
70	0.55 ± 0.17	0.45 – 0.65	0.60 ± 0.14	0.52 – 0.69	0.21	0.11	18.3
75	0.50 ± 0.14	0.42 – 0.59	0.54 ± 0.14	0.45 – 0.63	0.41	0.12	23.4
80	0.45 ± 0.14	0.36 – 0.53	0.47 ± 0.16	0.38 – 0.57	0.48	0.12	26.6
85	0.38 ± 0.16	0.29 – 0.48	0.44 ± 0.12	0.36 – 0.51	0.24	0.13	31.9
90	0.34 ± 0.15	0.24 – 0.43	0.37 ± 0.13	0.29 – 0.45	0.00	0.14	41.0
95	0.29 ± 0.13	0.20 – 0.38	0.29 ± 0.13	0.21 – 0.38	0.00	0.15	50.0
100	0.23 ± 0.11	0.15 – 0.31	0.24 ± 0.13	0.15 – 0.32	0.00	0.14	58.5

IC 95%, intervalo de confianza al 95%; ICC, coeficiente de correlación intraclase; TE, error técnico de medida; CV, coeficiente de variación.

La relación entre la carga relativa y la velocidad propulsiva media obtenida usando la aplicación barsense se muestra en la Figura 2. El ajuste individual de cada curva dio un ajuste de $R^2=0.96\pm 0.04$ (IC 95%, 0.94-0.99) y $R^2=0.97\pm 0.02$ (IC 95%, 0.96-0.99) en el test 1 y 2, respectivamente. El estudio individual de las funciones halladas mostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre test en todos los coeficientes beta y constante ($y=-0.0004\pm 0.0003x^2 + 0.0388\pm 0.0528x + 0.0222\pm 2.1464$ vs. $y=-0.0002\pm 0.0002x^2 + 0.0004\pm 0.0258x + 1.7260\pm 1.0635$).

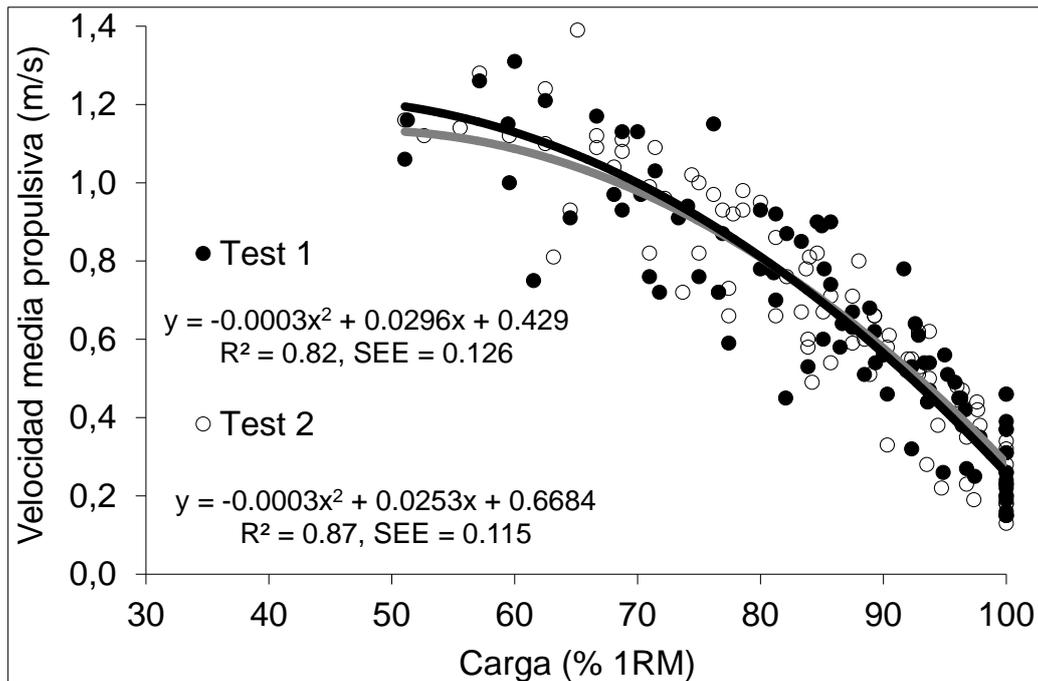


Figura 3. Relación carga (%1RM)-velocidad propulsiva media medida con la aplicación barsense durante el test 1 y 2. SEE, error estándar de la estimación.

En la tabla 3 se muestran los valores analizados en el test 1 y 2 con las funciones obtenidas usando el barsense en diferentes porcentajes de la 1RM. Se obtuvieron diferencias significativas ($p<0.05$) entre las velocidades obtenidas desde el 30% al 50% 1RM. Al igual que sucedió cuando se midió la velocidad con el encoder se hallaron bajos ICC y altos TE y CV. Estos valores fueron ligeramente superiores a los analizados con el encoder.

Tabla 3. Velocidad propulsiva media (MVP) alcanzada en cada porcentaje de 1RM usando la aplicación barsense como método de medida.

Carga (%1RM)	Test 1		Test 2		ICC	TE	CV (%)
	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%			
30	1.05 ± 0.58*	0.68 – 1.42	1.60 ± 0.46	1.33 – 1.88	0.15	0.50	37.5
35	1.10 ± 0.46*	0.80 – 1.39	1.55 ± 0.39	1.32 – 1.79	0.18	0.40	30.1
40	1.13 ± 0.36*	0.90 – 1.36	1.50 ± 0.33	1.30 – 1.70	0.25	0.31	23.7
45	1.15 ± 0.37*	0.98 – 1.33	1.44 ± 0.28	1.27 – 1.60	0.38	0.24	18.2
50	1.07 ± 0.38*	0.84 – 1.30	1.37 ± 0.24	1.22 – 1.51	0.00	0.33	27.3
55	1.08 ± 0.31	0.89 – 1.27	1.29 ± 0.21	1.16 – 1.42	0.01	0.27	22.5
60	1.06 ± 0.28	0.90 – 1.23	1.20 ± 0.19	1.09 – 1.32	0.31	0.22	19.1
65	1.04 ± 0.27	0.87 – 1.20	1.11 ± 0.18	1.00 – 1.22	0.51	0.19	17.4
70	0.99 ± 0.27	0.82 – 1.15	1.01 ± 0.18	0.90 – 1.12	0.61	0.18	17.5
75	0.92 ± 0.28	0.75 – 1.10	0.90 ± 0.19	0.79 – 1.02	0.64	0.18	19.3
80	0.84 ± 0.29	0.66 – 1.02	0.79 ± 0.20	0.67 – 0.91	0.63	0.18	22.7
85	0.74 ± 0.30	0.56 – 0.92	0.67 ± 0.21	0.54 – 0.79	0.61	0.19	27.7
90	0.62 ± 0.30	0.44 – 0.80	0.53 ± 0.23	0.40 – 0.67	0.57	0.21	35.5
95	0.53 ± 0.26	0.37 – 0.69	0.40 ± 0.25	0.25 – 0.55	0.53	0.20	44.4
100	0.46 ± 0.29	0.32 – 0.59	0.37 ± 0.37	0.25 – 0.49	0.63	0.14	33.4

IC 95%, intervalo de confianza al 95%; ICC, coeficiente de correlación intraclase; TE, error técnico de medida; CV, coeficiente de variación. *, diferencias significativas ($p < 0.05$).

Cuando se usaron los datos obtenidos en los dos test realizados con ambos métodos de medida se obtuvo un ajuste individual de las funciones polinómicas de $R^2=0.98\pm 0.02$ (IC 95%, 0.97-0.99) y $R^2=0.97\pm 0.03$ (IC 95%, 0.95-0.98) cuando se usó el encoder y la aplicación barsense, respectivamente. Cuando se utilizaron los datos individuales de cada sujeto para comparar las funciones obtenidas con ambos métodos, únicamente se obtuvieron diferencias significativas ($p<0.05$) en el primer coeficiente beta ($y=-0.0001\pm 0.0003x^2 + 0.0100\pm 0.0471x + 0.5721\pm 2.0912$ vs. $y=-0.0003\pm 0.0003x^2 + 0.0200\pm 0.0451x + 0.8439\pm 1.8733$). En la Figura 3 se muestra la relación obtenida con todos los datos de los sujetos.

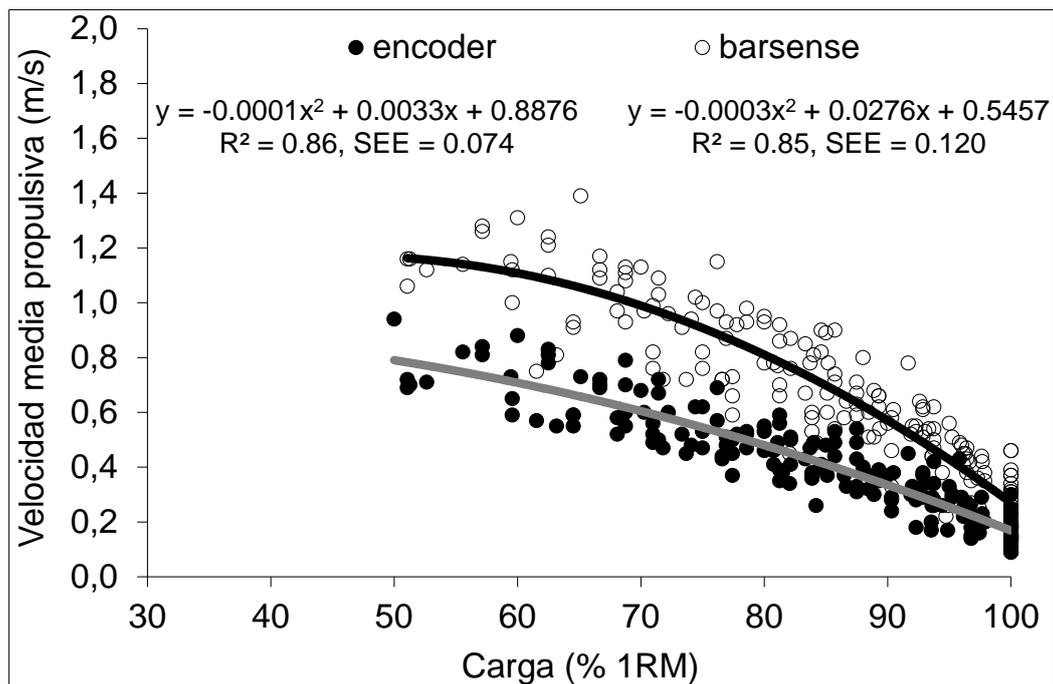


Figura 3. Relación carga (%1RM)-velocidad propulsiva media medida con el encoder y la aplicación barsense utilizando los datos obtenidos en el test 1 y 2. SEE, error estándar de la estimación.

Las velocidades propulsivas medias obtenidas en todos los %1RM analizados fueron significativamente ($p<0.01$) mayores cuando se usó la aplicación barsense (Tabla 4). La aplicación barsense sobrevaloró la velocidad medida propulsiva en $0.38\pm 0.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Únicamente se obtuvieron relaciones entre las velocidades medidas al 30-75% 1RM (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de las velocidades propulsivas medias (MVP) analizadas en cada porcentaje de 1RM en función del método de medida.

Carga (%1RM)	Encoder		Aplicación barsense		<i>r</i>	diferencia (m·s ⁻¹)
	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%		
30	0.91 ± 0.34*	0.77 – 1.05	1.34 ± 0.58	1.10 – 1.58	0.46‡	-0.42 ± 0.52
35	0.89 ± 0.29*	0.77 – 1.01	1.34 ± 0.48	1.14 – 1.53	0.47‡	-0.45 ± 0.43
40	0.86 ± 0.24*	0.76 – 0.96	1.32 ± 0.38	1.17 – 1.48	0.49‡	-0.46 ± 0.34
45	0.83 ± 0.20*	0.74 – 0.91	1.30 ± 0.31	1.17 – 1.43	0.53‡	-0.47 ± 0.26
50	0.79 ± 0.17*	0.72 – 0.86	1.22 ± 0.34	1.08 – 1.36	0.58‡	-0.48 ± 0.21
55	0.75 ± 0.15*	0.69 – 0.81	1.18 ± 0.28	1.07 – 1.30	0.63‡	-0.47 ± 0.17
60	0.70 ± 0.14*	0.64 – 0.76	1.13 ± 0.25	1.04 – 1.23	0.64‡	-0.46 ± 0.16
65	0.65 ± 0.13*	0.59 – 0.70	1.07 ± 0.23	0.98 – 1.17	0.60‡	-0.45 ± 0.17
70	0.58 ± 0.15*	0.51 – 0.64	1.00 ± 0.23	0.91 – 1.09	0.60‡	-0.43 ± 0.18
75	0.52 ± 0.14*	0.47 – 0.58	0.91 ± 0.24	0.82 – 1.01	0.46‡	-0.39 ± 0.21
80	0.46 ± 0.15*	0.40 – 0.52	0.81 ± 0.25	0.71 – 0.91	0.34	-0.35 ± 0.24
85	0.41 ± 0.14*	0.35 – 0.47	0.70 ± 0.26	0.60 – 0.81	0.23	-0.30 ± 0.27
90	0.35 ± 0.14*	0.29 – 0.41	0.58 ± 0.26	0.47 – 0.69	0.27	-0.22 ± 0.27
95	0.29 ± 0.13†	0.24 – 0.35	0.46 ± 0.26	0.36 – 0.57	0.38	-0.15 ± 0.24
100	0.23 ± 0.12†	0.18 – 0.29	0.41 ± 0.18	0.33 – 0.50	0.14	-0.18 ± 0.21

IC 95%, intervalo de confianza al 95%; *r*, coeficiente de correlación de Pearson; diferencia, entre los valores obtenidos con el encoder y con barsense. *, diferencias significativas (p<0.001). †, diferencias significativas (p<0.01). ‡, p<0.05.

En la Figura 4 se muestran la relación entre la carga relativa y la velocidad propulsiva media medida con el encoder usando los datos entre el 20-100% 1RM y el 50-100% 1RM. La R^2 media obtenida cuando se ajustó individualmente la relación fue de $R^2=0.99\pm 0.01$ (IC 95%, 0.98-0.99) y $R^2=0.98\pm 0.02$ (IC 95%, 0.97-0.99), respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre las funciones obtenidas en ambos test.

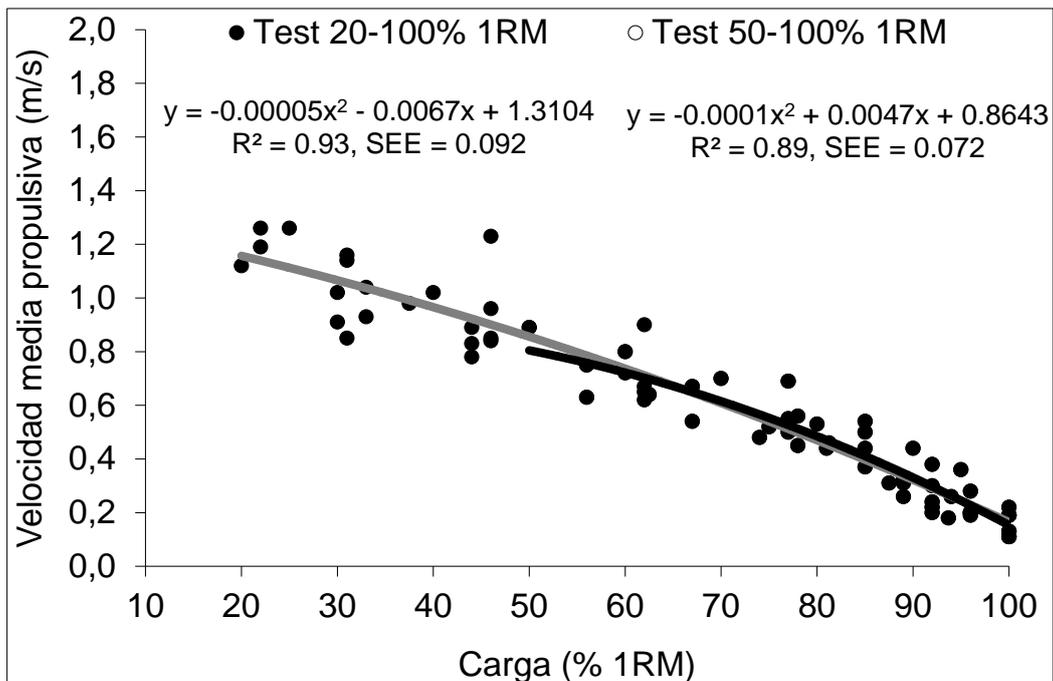


Figura 4. Relación carga (%1RM)-velocidad propulsiva media medida con el encoder utilizando los valores de carga entre el 20-100% 1RM y 50-100% 1RM. SEE, error estándar de la estimación.

No se encontraron diferencias significativas en las velocidades propulsivas medias entre el 30-100% 1RM utilizando la función calculada con cargas del 20-100% 1RM y 50-100% 1RM (Tabla 5). A pesar de ello, se obtuvieron altos CV entre medidas y bajos ICC en todas las cargas analizadas (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de las velocidades propulsivas medias (MVP) obtenidas con el encoder en cada porcentaje de 1RM utilizando la función polinómica obtenida con valores de carga entre el 20-100% 1RM o el 50-100% 1RM.

Carga (%1RM)	ENCODER 20-100%1RM		ENCODER 50-100%1RM		ICC	TE	CV (%)	ICC
	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%	MVP (m·s ⁻¹)	IC 95%				
30	1.11 ± 0.15	0.99 – 1.22	0.89 ± 0.40	0.47 – 1.29	0.22 ± 0.42	0.30	30.0	0.05
35	1.05 ± 0.14	0.88 – 1.09	0.88 ± 0.33	0.53 – 1.20	0.17 ± 0.35	0.25	25.7	0.11
40	0.99 ± 0.14	0.88 – 1.01	0.86 ± 0.27	0.58 – 1.12	0.13 ± 0.29	0.20	21.8	0.19
45	0.93 ± 0.13	0.83 – 0.95	0.84 ± 0.22	0.62 – 1.04	0.09 ± 0.23	0.16	18.3	0.29
50	0.87 ± 0.12	0.77 – 0.89	0.81 ± 0.17	0.65 – 0.97	0.06 ± 0.18	0.13	15.2	0.40
55	0.81 ± 0.12	0.71 – 0.83	0.77 ± 0.13	0.66 – 0.89	0.04 ± 0.14	0.10	12.6	0.50
60	0.75 ± 0.11	0.66 – 0.77	0.73 ± 0.10	0.65 – 0.82	0.02 ± 0.11	0.08	11.0	0.57
65	0.68 ± 0.10	0.60 – 0.71	0.68 ± 0.08	0.63 – 0.76	0.00 ± 0.10	0.07	10.7	0.57
70	0.61 ± 0.10	0.54 – 0.65	0.62 ± 0.09	0.58 – 0.71	0.01 ± 0.11	0.08	12.2	0.48
75	0.55 ± 0.09	0.47 – 0.58	0.55 ± 0.10	0.51 – 0.66	0.01 ± 0.12	0.08	15.4	0.32
80	0.48 ± 0.08	0.41 – 0.51	0.48 ± 0.12	0.44 – 0.61	0.01 ± 0.14	0.10	20.4	0.14
85	0.40 ± 0.07	0.35 – 0.44	0.40 ± 0.14	0.35 – 0.56	0.00 ± 0.16	0.11	27.9	0.01
90	0.33 ± 0.06	0.28 – 0.37	0.32 ± 0.17	0.26 – 0.50	0.01 ± 0.18	0.13	39.7	0.00
95	0.26 ± 0.06	0.21 – 0.29	0.30 ± 0.15	0.17 – 0.44	0.05 ± 0.14	0.10	36.9	0.02
100	0.18 ± 0.05	0.14 – 0.23	0.22 ± 0.17	0.06 – 0.37	0.04 ± 0.17	0.12	60.9	0.08

IC 95%, intervalo de confianza al 95%; ICC, coeficiente de correlación intraclase; TE, error técnico de medida; CV, coeficiente de variación.

5. DISCUSIÓN

El principal objetivo de este estudio fue comprobar la relación entre el % de carga y la VMP con diferentes herramientas de medida (encoder vs app barsense) en el ejercicio de press banca. El estudio de la velocidad de ejecución en la fase propulsiva como método de determinación de la intensidad ha sido estudiada en varios trabajos (1,2,4-7). Todos estos trabajos establecen esta relación utilizando como método de medida el encoder, confirmando la VMP como método fiable para establecer la intensidad en ejercicios de fuerza. En este aspecto los resultados obtenidos en nuestro estudio en la relación carga relativa y la VMP en los test 1 y 2 coinciden con estos trabajos como muestran las Tablas 2 y 5.

Sin embargo en el análisis de la relación entre la carga relativa y la VMP en los test 1 y 2 usando la aplicación barsense, podemos comprobar (Tabla 3) que se encontraron diferencias significativas entre las velocidades del 30-50%. Además con ambos métodos de medida se obtuvieron valores bajos en ICC y altos en TE y CV.

Estos resultados son corroborados en la Tabla 4 donde fueron comparados ambos instrumentos de medida en sendos test (test 1 y 2), mostrando diferencias significativamente mayores cuando se usó barsense, sobrestimando la VMP en $0.38 \pm 0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ con respecto al encoder como herramienta de medida. Asimismo se establecieron solamente relaciones entre las VMP del 30-75% de las cargas.

Examinando éstas divergencias en la comparación de ambos útiles de medida podemos dilucidar según algunos estudios posibles elementos causales. Se ha comprobado en un estudio reciente (10) la mayor fiabilidad en evaluaciones de resistencias isoinerciales en sujetos con experiencia en el entrenamiento de fuerza (press banca, sentadilla), disminuyendo el CV y TE dentro de las ecuación intra-sujeto en ejercicios con parada entre fases excéntrica y concéntrica en la técnica de ejecución en comparación con una ejecución sin parada. Por el contrario el ICC fue mayor en la técnica con parada.

La muestra heterogénea en cuanto a nivel de experiencia en el entrenamiento de la fuerza y como consecuencia la variación de la técnica de ejecución utilizada en este estudio corrobora estos datos. Algo que se podría haber solventado con la utilización de la maquina Smith para eliminar el componente técnico de ejecución, el cual fue descartado por los resultados obtenidos en varios estudios (11,12) donde se demostró la mayor implicación muscular y por tanto mayor desarrollo de la fuerza en la musculatura del tren superior. Siguiendo las conclusiones de estos último estudios (11,12) y teniendo en cuenta la mayor

naturalidad del gesto en el ejercicio de empuje horizontal libre y sin pausa entre fases (excéntrica-concéntrica), y teniendo además mayor aplicación funcional al rendimiento deportivo de diferentes modalidades (objetivo de cualquier trabajo con atletas) se tomó la decisión de la utilización de este material.

Asimismo la diversidad de la muestra puede influir en los resultados, dado que según Baker D et al. (13) atletas que entrenan potencia pueden generar el pico máximo de potencia con un % de carga más alto que atletas que entrenan fuerza.

No obstante en otro estudio Gomez PT et al. (14) compararon el encoder con otro útil de medida, en este caso un acelerómetro 3D (myotest) concluyendo que ambos dispositivos no se deben intercambiar como instrumentos de medida. Algo que nos puede llevar a buscar una relación similar entre los dos utensilios de medida utilizados en nuestro estudio, no obstante son necesarios nuevos estudios que aclaren la esta cuestión.

A todo lo expuesto anteriormente debemos añadir lo expuesto en diferentes estudios (4,15) donde se observa que la influencia en el press banca en % bajos y medios (20-70%) de la fase de frenando provocada por la gravedad, induce a imprecisiones en la medición de la velocidad.

Por otra parte pese a que la relación entre las curvas obtenidas con las funciones del encoder y barsense no es la misma durante toda la curva y de la cual derivamos la imposibilidad de extrapolar datos de diferentes útiles de medida, podemos afirmar que utilizando el mismo instrumento la relación entre el % de carga y la VMP, nos proporciona una función con la que poder calcular con fiabilidad el 1RM mediante la velocidad de la fase concéntrica de cualquier carga submáxima realizada a la máxima velocidad voluntaria (5,6).

6. LIMITACIONES

Entre las posibles limitaciones que podemos encontrar en este estudio son la utilización de una muestra heterogénea la cual influye en la realización de los levantamientos, al ser necesaria una mínima técnica con pesos libres, y evitar obtener posibles errores en función de la técnica de cada sujeto. También se obvió la parada entre las fases excéntrica y concéntrica pudiendo así aprovecharse del efecto rebote los sujetos con más experiencia.

7. ESTUDIOS FUTUROS

En vista del nuestro estudio, se podría plantear la posibilidad de realizar estudios semejantes en otros ejercicios de fuerza (sentadilla, peso muerto, press militar...) ya que cada ejercicio tiene su propia velocidad máxima de ejecución en la fase propulsiva en cada % de carga. Incluso realizar el análisis en ejercicios de halterofilia (arrancada, cargada,...) aunque esto requiere de mayor dificultad dado que la trayectoria de la barra durante el levantamiento tiene tanto desplazamientos verticales como horizontales y esto puede influir en la medición.

8. CONCLUSIONES

No podemos obviar evidencia de que la velocidad de la fase concéntrica es un método excelente para la determinación de la intensidad en ejercicios de fuerza. No obstante la herramienta con la que sea registrada va a influir en los datos obtenidos. Teniendo esto en cuenta la relación obtenida entre el % de carga y la VMP con un encoder nos dará datos muy reales respecto a la VMP y una estrecha relación entre estos. Por otro lado existen útiles de medida más económicos con los que poder determinar el 1RM mediante la velocidad de la fase concéntrica en una repetición con una carga submáxima, como la app para Android, barsense, la cual nos ofrece una relación % carga-VMP fiable pero nos da velocidades sobrestimadas con respecto al velocidad real. En cualquier caso siempre y cuando no extrapolemos datos obtenidos con utensilios diferentes (encoder-barsense) y utilicemos individualmente esta app para un mismo sujeto podremos medir la intensidad de la carga con la velocidad media propulsiva.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. González JJ. Gorostiaga E. Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. Ed. Inde. Madrid 2002.
2. González JJ. Ribas J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Ed. Inde. Barcelona. 2002.
3. Baechle T. Earle, R. Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico. Ed. Paidotribo. Badalona. 2012.
4. Sánchez L. González B. Pérez C. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine* 2010; 31(02): 123-129.
5. González JJ. Sánchez L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of sports medicine* 2010; 31(05): 347-352.
6. Sánchez L. González JJ. Pérez C. Pallarés J. Velocity-and power-load relationships of the bench pull vs. Bench press exercises. *International journal of sports medicine* 2013; 35(03): 209-216.
7. Sanchez L. González JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2011; 43(9): 1725-1734.
8. Garnacho M. López S. Maté JL. Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *Journal Sports Science Medicine* 2015; 14(1): 128-36.
9. Balsalobre C. Jiménez P. Entrenamiento de fuerza. Nuevas perspectivas y metodología. [Internet]. Disponible en: <https://es.scribd.com/>
10. Pallarés, JG. Sánchez L., Pérez C. De La Cruz E. Mora R. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *Journal of sports sciences* 2014; 32(12): 1165-1175.
11. Schick E. Coburn W. Brown E. Judelson A. Khamoui V. Tran T. Uribe P. A comparison of muscle activation between a Smith machine and free weight bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2010; 24(3): 779-784.

12. Cotterman L. Darby A. Skelly A. Comparison of muscle force production using the Smith machine and free weights for bench press and squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2005; 19(1): 169-176.
13. Baker D. Nance S. Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2001; 15(1): 20-24.
14. Gomez T. Sánchez T. Manrique C. Gonzalez P. Reliability and comparability of the accelerometer and the linear position measuring device in resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2013; 27(6): 1664-1670.
15. García A. Padial P. García M. Conde J. Argüelles J. Stirn I. Feriche B. Reliability Analysis of Traditional and Ballistic Bench Press Exercises at Different Loads. *Journal of human kinetics* 2015; 47(1): 51-59.