



Universidad de Granada.

Facultad de Ciencias del Deporte.

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA.

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN.
INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA.

**INFLUENCIA DE LA MODALIDAD DE PRESS DE
BANCA SOBRE LA RELACIÓN CARGA-VELOCIDAD.**

Tesis Doctoral presentada por:

FRANCISCO LUIS PESTAÑA MELERO.

Tesis Doctoral dirigida por:

DR. FRANCISCO JAVIER ROJAS RUIZ.

DR. AMADOR GARCÍA RAMOS.

Granada, 2019

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Francisco Luis Pestaña Melero
ISBN: 978-84-1306-317-1
URI: <http://hdl.handle.net/10481/57270>

Influencia de la modalidad de press de banca sobre la relación carga-velocidad.

Francisco Luis Pestaña Melero.

Programa de Doctorado en Ciencias de la Educación.

Investigación en Educación Física y Deportiva.

DIRECTORES.

Dr. Francisco Javier Rojas Ruiz.

Dr. Amador García Ramos.



Departamento de Educación Física y Deportiva.

Universidad de Granada.

A mi FAMILIA.

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS DOCTORAL.

1. **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Slobodan Jaric, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, and Amador García-Ramos. Comparison of Mechanical Outputs Between the Traditional and Ballistic Bench Press: Role of the Type of Variable. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].
2. Amador García-Ramos, **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas and Guy Gregry Haff. Differences in the Load-Velocity Profile Between 4 Bench-Press Variants. *Intenational Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018; 13(3): 326-331.
3. **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Guy Gregory Haff, Francisco Javier Rojas, Alejandro Pérez-Castilla, Amador García-Ramos. Reliability of the Load-Velocity Relationship Obtained Through Linear and Polynomial Regression Models to Predict the 1-Repetition Maximun Load. *Journal of Applied Biomechanics*, 2018; 34(3): 184-190.
4. Amador García-Ramos, **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, Guy Gregory Haff. Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability? *Journal or Strength and Conditioning Research*, 2018; 32(5): 1273-1279.
5. Amador García-Ramos, Guy Gregory Haff, **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, Carlos Balsalobre-Fernández, Slobodan Jaric. Feasibility of the 2-Point Method for Deterining the 1-Repetition Maximum in the Bench Press Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018; 13(4): 474-481.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
ABREVIACIONES.....	3
RESUMEN.....	5
ESTUDIO I: Comparison of mechanical outputs between the traditional and ballistic bench press: role of the type of variable.....	7
ESTUDIO II: Differences in the load-velocity profile between four bench press variants.....	8
ESTUDIO III: Reliability of the load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1-repetition maximum load.....	9
ESTUDIO IV: Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability?.....	10
ESTUDIO V: Feasibility of the 2-point method for determining the 1-repetition maximum in the bench press exercise.....	11
1. Introducción.....	13
1.1 Diferencias en las variables mecánicas entre las distintas modalidades del ejercicio de press de banca.....	17
1.2 Optimización de la evaluación de la relación carga-velocidad en press de banca.....	19
1.3 Método de dos puntos: propuesta para una evaluación rápida y sin fatiga de la repetición máxima en press de banca.....	20
2. Objetivos e Hipótesis.....	23
3. Material y Método.....	25
4. Resultados.....	45
4.1 Diferencias en las variables mecánicas entre las distintas modalidades del ejercicio de pres de banca.....	45
4.1.1 Estudio I.....	45
4.2 Optimización de la evaluación de la relación carga-velocidad en press banca.....	51
4.2.1 Estudio II.....	51

4.2.2 Estudio III.....	55
4.2.3 Estudio IV.....	61
4.3 Método de dos puntos: propuesta para una evaluación rápida y sin fatiga de la Repetición-Máxima en press de banca.....	67
4.3.1 Estudio V.....	67
5. Discusión.....	73
5.1 Discusión Estudio I.....	73
5.2 Discusión Estudio II.....	77
5.3 Discusión Estudio III.....	81
5.4 Discusión Estudio IV.....	85
5.5 Discusión Estudio V.....	89
6. Conclusiones.....	93
7. Limitaciones y fortalezas.....	95
8. Futuras línea de investigación.....	97
9. Referencias.....	99
10. Relación de tablas y figuras.....	109
11. Curriculum Vitae abreviado.....	113
12. Apéndices.....	117
12.1 Consentimiento informado.....	117
12.2 Publicaciones científicas derivadas de la tesis doctoral.....	119

AGRADECIMIENTOS.

Lo primero que me gustaría hacer al comenzar el presente manuscrito, es agradecer a todas las personas que han sido partícipes de todo este largo proceso de formación, no sólo académica, sino también personal, que pone punto y final a una de las etapas más enriquecedoras de mi vida. A partir de aquí, se abre otra nueva etapa, con otros horizontes y otros retos. En esta nueva etapa, intentaré dar lo mejor de mí, sin parar de aprender, superar adversidades y disfrutar de cada momento, porque la vida no es otra cosa que una sucesión de continuos aprendizajes, vivencias y emociones.

“Yo creo bastante en la suerte. Y he constatado que cuanto más duro trabajo, más suerte tengo” (Thomas Jefferson)

En primer lugar, como no podría ser de otro modo, agradecer por todo el apoyo incondicional a mis padres (Paco y Encarna), todo lo que tengo, todo lo que soy es gracias a ellos. Han dado todo por sus hijos, y ojalá ellos puedan estar la décima parte de orgullosos de mí, que estoy yo de ellos. Trabajadores incansables, me enseñaron que en esta vida los éxitos no vienen solos, sino que se logran a base de esfuerzo y dedicación. Me sobran las palabras hacia ellos. Gracias por absolutamente todo.

A mi hermana (Verónica), por todo su cariño y amor. En los momentos más difíciles siempre ha estado ahí, y sin lugar a duda, sé que siempre la tendré a mi lado en los momentos buenos, y en los no tanto.

A Zaida, mi compañera de viaje, ella más que nadie sabe todo lo duro que ha sido el proceso, y ha sido la que más me ha sufrido en estos últimos tiempos conforme se iba acercando el final del mismo. Gracias por toda su comprensión, paciencia y ayuda en todo momento. Sin ella, todo hubiera sido más difícil. Gracias por aparecer en mi vida y no soltarme nunca.

Gracias, al principal artífice de la presente Tesis Doctoral, mi director de tesis, mi amigo, Amador García Ramos. Eres un espejo en quien fijarse, un luchador incansable, estoy seguro de que la vida te dará todo lo bueno que te mereces (que es muchísimo) y conseguirás

todos los objetivos que te propones, porque si tu no los consigues, no sé quién en la vida los podrá conseguir. Gracias, porque sin ti, nada de esto hubiera sido posible. Te estaré eternamente agradecido. Como no, también agradecer a Javier Rojas, director de tesis al igual, otro soporte fundamental para la consecución de la misma. Sin sus conocimientos, sabiduría y apoyo en todo momento nada de esto podría haberse conseguido. Gracias por la acogida y el empujón que me diste para empezar con este ilusionante proyecto. Me aportaste la fuerza y seguridad que necesitaba.

A Alejandro Pérez Castilla, por esa predisposición a ayudar en todo momento, has contribuido y aportado mucho en todo este proceso. Siempre nos quedará los buenos momentos vividos junto a Jesús Vera Vílchez y al jefe en el laboratorio de la facultad, en los congresos de Madrid, en el Malibu beach... ¡Qué sería de la vida sin todo esos buenos momentos!, no todo iba ser recoger datos y escribir papers.

Por último, agradecer también a todas esas personas que han aportado y siguen aportando mucho en mi vida. A mis amigos de la infancia, de mi pueblo, de mis raíces, que desde los 4 años estamos juntos, y ahí seguimos, no nos hartamos. Y a mis compañeros de carrera, que luego pasaron a ser amigos por y para siempre (Araque y Ginés), y otros que circunstancias de la vida, nos han llevado a vivir lejos unos de los otros, pero sé que siempre estarán ahí (Jorge, Quique, Javi, Juan, etc.).

Por último, a las personas que aunque ya no estén aquí entre nosotros, siempre lo tendremos en nuestros corazones, Gracias abuelos/as, porque sin que lo supieseis, me distéis muchas lecciones de vida.

ABREVIACIONES.

1RM	Repetición máxima
% 1RM	Porcentaje de la repetición máxima
CEA	Ciclo estiramiento-acortamiento
VM	Velocidad media
VMP	Velocidad media propulsiva
Vmax	Velocidad máxima
PMP	Potencia media propulsiva
IMC	Índice de masa corporal
V1RM	Velocidad media obtenida en la repetición máxima
CV	Coefficiente de variación
SD	Desviación estándar
SEE	Error estándar de la estimación
CCI	Coefficiente de correlación intraclase
ES	Tamaño de efecto de Cohen

RESUMEN.

La cuantificación precisa y eficiente de la carga de entrenamiento es una de las principales preocupaciones de los profesionales y aficionados que realizan entrenamiento de fuerza. Uno de los métodos que con más empuje se está estableciendo para el control y cuantificación del entrenamiento de fuerza es el entrenamiento basado en la velocidad de ejecución. La popularidad de este método ha sido posible por la proliferación de transductores lineales de posición que, junto con otros métodos de medición, permiten evaluar la velocidad de movimiento en diferentes ejercicios de fuerza.

Una de las aplicaciones más importantes de la medición de la velocidad de ejecución es que nos permite estimar el % 1RM a partir de la relación carga-velocidad. Sin embargo, la relación carga-velocidad es dependiente del ejercicio evaluado. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de evaluar la relación % 1RM-velocidad en los diferentes ejercicios utilizados por los deportistas en los entrenamientos de fuerza.

El principal objetivo de la presente Tesis Doctoral fue el de profundizar en el estudio de la velocidad de ejecución como variable para determinar la intensidad en el entrenamiento de fuerza en distintas modalidades del ejercicio de press de banca realizado en máquina Smith. La presente tesis está compuesta por 5 estudios que han sido publicados en revistas indexadas en el Journal Citation Reports. Para alcanzar dicho objetivo, los estudios se centraron en (A) analizar las diferencias mecánicas existentes entre los ejercicios de press de banca tradicional y lanzado (Estudio I), (B) explorar diferentes aspectos metodológicos a considerar al determinar la relación carga-velocidad en distintas modalidades del ejercicio press de banca (Estudio II, III y IV), y (C) estudiar la viabilidad del método de dos puntos para estimar la 1RM de una forma rápida a través de la relación carga-velocidad individual (Estudio V).

Los principales resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral ponen de manifiesto que: (A) la comparación entre los valores de fuerza, velocidad, y potencia entre los ejercicios de press de banca tradicional y lanzado se ve afectada por el tipo de variable considerada; (B) se debe recomendar la determinación de la relación carga-velocidad individual, puesto que

una misma velocidad puede representar diferentes % 1RM para cada sujeto; (C) la velocidad asociada a cada % 1RM es específica para cada modalidad del ejercicio de press de banca; (D) para determinar la relación carga-velocidad individual es más apropiado el uso de un modelo de regresión lineal que un modelo de regresión polinomial; (E) la velocidad media (VM) podría ser la variable más apropiada para monitorizar la carga relativa (% 1RM) en el ejercicio de press de banca; (F) la alta fiabilidad y precisión del método de dos puntos apoya su uso para determinar la 1RM en el ejercicio de press de banca, evitando así las limitaciones del método directo y de las ecuaciones de grupo anteriormente propuestas.

De una forma más específica, procedemos a realizar un breve resumen de cada uno de los estudios que conforman la presente tesis doctoral:

ESTUDIO I: *"COMPARISON OF MECHANICAL OUTPUTS BETWEEN THE TRADITIONAL AND BALLISTIC BENCH PRESS: ROLE OF THE TYPE OF VARIABLE"*

Propósito: Este estudio tiene como objetivo principal explorar las diferencias mecánicas existentes entre el ejercicio de press de banca tradicional y lanzado.

Método: 21 hombres (edad = $22,0 \pm 4,2$ años, masa corporal = $73,4 \pm 7,7$ kg, altura = $177,2 \pm 8,0$ cm, press de banca tradicional solo-concéntrico 1RM = $81,3 \pm 6,8$ kg) realizaron el ejercicio de press de banca con una carga externa de 27 kg usando dos técnicas de ejecución (solo-concéntrico, y con ciclo estiramiento-acortamiento [CEA]). Las siguientes variables fueron evaluadas con un transductor lineal de velocidad: valores medios tradicionales (desde la primera velocidad positiva hasta que la barra alcanza la máxima altura), valores medios propulsivos (desde la primera velocidad positiva hasta que la aceleración de la barra es menor que la gravedad [$-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$]), y valores máximos (el valor instantáneo más alto de la fase concéntrica) de fuerza, velocidad y potencia.

Resultados: La magnitud del tamaño de efecto (el signo negativo indica un valor más alto para el press de banca tradicional respecto al press de banca lanzado) osciló desde -0,10 hasta -2,19 para las variables de fuerza, desde 0,28 hasta 1,30 para las variables de velocidad, y desde -0,73 hasta 0,67 para las variables de potencia, resultando similares estas diferencias para las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA.

Conclusión: Estos resultados resaltan que la comparación entre los valores de fuerza, velocidad, y potencia entre los dos ejercicios se ve afectada en gran medida por el tipo de variable considerada. Las limitaciones de los transductores lineales de velocidad para determinar con precisión el punto final de la fase concéntrica nos sugiere que los valores máximos, sobre todo los de velocidad, se debe reportar preferentemente para evaluar el rendimiento en ejercicios balísticos como es el press de banca lanzado.

ESTUDIO II: "DIFFERENCES IN THE LOAD-VELOCITY PROFILE BETWEEN FOUR BENCH PRESS VARIANTS".

Propósito: Comparar la relación carga-velocidad entre 4 modalidades del ejercicio de press de banca: press de banca tradicional solo-concéntrico; press de banca tradicional con CEA; press banca lanzado solo-concéntrico; press banca lanzado con CEA.

Método: La relación carga-velocidad de 30 hombres se evaluó mediante un test de carga incremental que comenzó en 17 kg y avanzó hasta alcanzar la 1RM en las 4 modalidades de press de banca anteriormente mencionadas.

Resultados: Una relación fuerte y lineal entre la VM y el %1RM fue observada para las 4 modalidades ($r^2 > 0,96$ para los datos agrupados de todos los sujetos y $r^2 > 0,98$ para los datos individuales). La VM asociada con cada %1RM fue significativamente más alta para la técnica de ejecución con CEA en comparación con la técnica de ejecución solo-concéntrico. La única diferencia significativa entre las modalidades de press de banca tradicional y lanzado fue la mayor VM con las cargas ligeras y moderadas (20-70%) en el press de banca lanzado usando la técnica solo-concéntrico. La VM a cada %1RM se correlacionó de manera significativa y positiva entre las 4 modalidades de press banca ($r = 0,44-0,77$), lo cual sugiere que los sujetos con mayores velocidades por cada %1RM en una modalidad de press banca tienden a tener mayores velocidades por cada %1RM en las otras 3 modalidades de press de banca.

Conclusiones: Estos resultados resaltan la necesidad de obtener ecuaciones específicas para cada una de las modalidades de press de banca y la existencia de perfiles individuales de carga-velocidad.

ESTUDIO III: *"RELIABILITY OF THE LOAD-VELOCITY RELATIONSHIP OBTAINED THROUGH LINEAR AND POLYNOMIAL REGRESSION MODELS TO PREDICT THE 1-REPETITION MAXIMUM LOAD"*.

Propósito: Este estudio tuvo como objetivo comparar la fiabilidad entre sesiones de la relación carga-velocidad obtenida en el ejercicio de press de banca por (1) modelos de regresión lineal y polinomial, (2) y usando las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA. Además, se comparó (3) la variabilidad de la velocidad asociada a cada %1RM intra-sujeto vs. entre-sujetos.

Método: La relación carga-velocidad de 30 hombres se evaluó mediante modelos de regresión lineal y polinomial en las modalidades de press de banca tradicional con las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA en una máquina Smith.

Resultados: Los resultados principales fueron: (1) la regresión lineal (CV = 4,39% -4,70%) proporcionó la relación carga-velocidad con mayor fiabilidad que la polinomial (CV = 4,68% -5,04%); (2) la fiabilidad de la relación carga-velocidad no difirió entre las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA; (3) la variabilidad intra-sujeto de la velocidad alcanzada en cada %1RM fue notablemente inferior que la variabilidad entre-sujetos.

Conclusiones: Estos resultados ponen de relieve que, independientemente de la modalidad de press de banca considerada, la determinación individual de la relación carga-velocidad por un modelo de regresión lineal es el método más preciso para prescribir la carga relativa (%1RM) en el ejercicio de press banca.

ESTUDIO IV: "MEAN VELOCITY VS. MEAN PROPULSIVE VELOCITY VS. PEAK VELOCITY: WHICH VARIABLE DETERMINES BENCH PRESS RELATIVE LOAD WITH HIGHER RELIABILITY?".

Propósito: Este estudio tuvo como objetivo comparar entre 3 variables de velocidad (velocidad media [VM]; velocidad media propulsiva [VMP] y velocidad máxima [Vmax]): (1) la linealidad de la relación carga-velocidad, (2) la precisión de las ecuaciones generales de carga-velocidad para predecir la carga relativa (%1RM) y (c) la fiabilidad entre sesiones de la velocidad asociada a cada %1RM.

Método: Se evaluó la relación carga-velocidad de 30 hombres a través de modelos de regresión lineal en las modalidades de press de banca lanzado con las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA en máquina Smith. Las 2 sesiones de cada modalidad de press de banca lanzado fueron realizadas dentro de la misma semana separadas por 48-72 horas.

Resultados: los principales hallazgos fueron los siguientes: (1) la VM mostró la linealidad más fuerte de la relación carga-velocidad (mediana $r^2 = 0,989$ para press de banca lanzado solo-concéntrico y $0,993$ para press de banca lanzado con CEA), seguido de la VMP (mediana $r^2 = 0,983$ para press de banca lanzado solo-concéntrico y $0,980$ para press de banca lanzado con CEA), y finalmente la Vmax (mediana $r^2 = 0,974$ para press de banca lanzado solo-concéntrico y $0,969$ para press de banca con CEA): (2) la precisión de las ecuaciones generales de carga-velocidad para predecir la carga relativa (%1RM) a partir de la velocidad de ejecución fue mayor para VM (SEE = 3,80-4,76%1RM) que para VMP (SEE = 4,91-5,56%1RM) y Vmax (SEE = 5,36-5,77%1RM); y (3) la Vmax mostró el menor CV intra-sujeto (3,50-3,87%), seguido de la VM (4,05%-4,93%), y finalmente VMP (5,11%-6,03%).

Conclusiones: Estos resultados sugieren que la VM podría ser la variable más apropiada para monitorizar la carga relativa (%1RM) en el ejercicio de press de banca lanzado realizado en una máquina Smith.

ESTUDIO V: "FEASIBILITY OF THE 2-POINT METHOD FOR DETERMINING THE 1-REPETITION MAXIMUM IN THE BENCH PRESS EXERCISE".

Propósito: Este estudio comparó la validez y fiabilidad de ecuaciones de grupo generales propuestas previamente para estimar la 1RM en el ejercicio de press de banca y la relación carga-velocidad individualizada modelada a través del método de 2 puntos.

Método: 30 hombres (1RM del ejercicio de press de banca tradicional en relación con la masa corporal: $1,08 \pm 0,18 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) realizaron 2 test de carga incremental con el ejercicio de press de banca tradicional solo-concéntrico y otros 2 test en el ejercicio de press de banca tradicional con CEA para evaluar sus relaciones carga-velocidad. Una velocidad alta ($\approx 1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) y una velocidad baja ($\approx 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) fueron seleccionadas para estimar la 1RM a partir de ecuaciones generales y a través de un modelo lineal individual obtenido a partir de las 2 velocidades anteriormente mencionadas.

Resultados: La 1RM directamente medida tuvo una alta correlación con todos los 1RM estimados ($r = 0,847-0,977$). Las ecuaciones de grupo generalizadas subestimaron sistemáticamente la 1RM cuando se estimó a partir del press de banca solo-concéntrico ($P < 0,001$; tamaño del efecto = $0,15-0,94$), pero sobrestimó la 1RM cuando se estimó a partir del press de banca con CEA ($P < 0,001$; tamaño del efecto = $0,36-0,98$). Por el contrario, una diferencia sistemática baja (rango: $-2,3-0,5 \text{ kg}$), errores aleatorios bajos (rango: $3,0-3,8 \text{ kg}$), ausencia de heterocedasticidad de errores ($r^2 = 0,053-0,082$) y tamaño del efecto trivial (rango: $-0,17-0,04$) se observaron cuando la predicción se basó en el método de 2 puntos. Aunque todos los métodos examinados reportaron la 1RM con una alta fiabilidad ($\text{CV} \leq 5,1\%$; $\text{CCI} \geq 0,89$), el método directo fue el más fiable ($\text{CV} < 2,0\%$; $\text{CCI} \geq 0,98$).

Conclusiones: Además de la rapidez, la ausencia de fatiga y la practicidad, el método de dos puntos fue capaz de predecir la 1RM en el ejercicio de press de banca tradicional con una alta fiabilidad y una precisión mayor que las ecuaciones generales de carga-velocidad. Por lo tanto, se sugiere el uso del método de 2 puntos sobre las ecuaciones generales de carga-velocidad.

1. Introducción.

La fuerza, desde el punto de vista de la mecánica es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o movimiento de un cuerpo. De una forma más específica, en el ámbito de la actividad física y el deporte, lo que más nos importa es conocer en qué medida la fuerza interna generada por los músculos se traduce en fuerza aplicada sobre las resistencias externas. En el entrenamiento para el desarrollo de la fuerza muscular, podemos observar dos objetivos principales: por un lado, posibilitar al sistema neuromuscular la manifestación máxima de tensión muscular, y por otro, mejorar la capacidad para mantener un determinado nivel submáximo de fuerza durante acciones musculares repetitivas o de larga duración (Izquierdo, 2007).

Uno de los problemas que comúnmente se encuentran los profesionales del entrenamiento de fuerza reside en la cuantificación de la carga de entrenamiento, ya que la cuantificación precisa y eficiente de tal carga, es un factor determinante del rendimiento y resultado deportivo. Las dos principales variables que deben considerarse para determinar la carga de entrenamiento son el volumen y la intensidad. El *volumen* hace referencia a la cantidad de trabajo que se realiza (p. ej. número de repeticiones por serie, número de serie por ejercicios, número de ejercicios por sesión, número de sesiones semanales, etc.). Por otro lado, la *intensidad* hace referencia a la calidad del entrenamiento, que fundamentalmente viene expresada por la magnitud de la carga movilizada (Ratamess et al., 2009).

La forma tradicional de cuantificar la intensidad en el entrenamiento de fuerza requiere de la determinación de la carga máxima que puede desplazarse una sola vez en un determinado ejercicio, conocido como la repetición máxima (1RM). Una vez la 1RM es conocida, la intensidad de la carga suele expresarse en un porcentaje de esa máxima carga (%1RM). Sin embargo, la determinación directa de la 1RM presenta una serie de inconvenientes que limitan su utilidad en el ámbito práctico: (1) la determinación de la 1RM requiere de un tiempo considerable (30-45 min aproximadamente) por lo que es impráctico si es necesario determinar la 1RM en varios ejercicios y puede desencadenar fatiga; (2) la realización de la 1RM en determinados ejercicios puede incrementar el riesgo de lesión en deportistas principiantes; (3) el valor de la 1RM es altamente modificable con el entrenamiento por lo que sería necesario

un cálculo constante de la 1RM para saber a qué intensidad está trabajando el deportista (García-Ramos & Jaric, 2018).

Para evitar los riesgos vinculados a la determinación directa de la 1RM, estudios previos han propuesto diferentes fórmulas y ecuaciones para predecir el valor de la 1RM en función del número de repeticiones que pueden realizarse con una carga submáxima hasta llegar al fallo muscular (Brzycki, 1993; Lander, 1984; Mayhew, Ball, Arnold, & Bowen, 1992; Nascimento et al., 2007). Pero la precisión de dichas ecuaciones basadas en el número de repeticiones realizadas hasta el fallo podría verse comprometidas por factores como el tipo de ejercicio, la velocidad de ejecución, o el nivel de entrenamiento de los sujetos (Sakamoto & Sinclair, 2006; Wood, Maddalozzo, & Harter, 2002). Además, la evidencia científica muestra que entrenar con repeticiones al fallo no es el modo de entrenamiento más conveniente para optimizar las adaptaciones al entrenamiento de fuerza (Pareja-Blanco et al., 2017), por lo que no sería recomendable estar continuamente evaluando la 1RM de los deportista a través de un test de repeticiones al fallo.

Para hacer frente a las limitaciones expuestas anteriormente, la medición de la velocidad de ejecución ha surgido con fuerza como una variable importante a considerar a la hora de monitorizar la intensidad del entrenamiento de fuerza (González-Badillo, Marques, & Sánchez-Medina, 2011). El gran desarrollo tecnológico de los últimos años (p. ej. transductores lineales de posición y velocidad, acelerómetros, aplicaciones móviles, etc.) está permitiendo determinar de forma precisa la velocidad a la que se realizan los ejercicios de fuerza tradicionales (sentadillas, press de banca, dominadas, peso muerto, movimientos olímpicos, etc.).

El uso de la velocidad de ejecución como variable para determinar la intensidad del entrenamiento de fuerza se justifica por la estrecha relación que se ha observado entre la velocidad de ejecución y el %1RM en varios ejercicios (es decir, un determinado valor de velocidad está asociado con un determinado %1RM) (Banyard, Nosaka, & Haff, 2017; Conceição, Fernandes, Lewis, González-Badillo, & Jiménez-Reyes, 2016; Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez, & Pallarés, 2014). De este modo, se ha propuesto que una de las principales ventajas de monitorizar la velocidad de ejecución es que nos permite conocer la

intensidad (% 1RM) a la que nuestro deportista está trabajando con sólo realizar una repetición a máxima velocidad con una carga determinada (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010).

Así pues, como hemos comentado anteriormente, la forma tradicional de cuantificar la intensidad en el entrenamiento de fuerza requiere de la determinación de la carga máxima que puede desplazarse una sola vez en un ejercicio determinado (1RM). Sin embargo, con el fin de superar los problemas y limitaciones inherentes a la estimación de la 1RM (ya sea a través de la determinación directa, o la realización de repeticiones con cargas submáximas), estudios previos han puesto de manifiesto que la velocidad de ejecución puede usarse para estimar con precisión la 1RM, lo que presenta una gran utilidad a la hora de monitorizar la intensidad y ajustar las cargas durante el entrenamiento de fuerza (Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sanchez-Medina, Perez, & Gonzalez-Badillo, 2010). De este modo, el conocimiento de la velocidad de ejecución nos hace conscientes de la carga/intensidad con la que se está ejercitando el deportista (Jidovtseff, Harris, Crielaard, & Cronin, 2011). Sin embargo, la relación carga-velocidad parece ser dependiente del ejercicio evaluado (Conceição et al., 2016). Este hecho pone de manifiesto la necesidad de evaluar la relación carga-velocidad en los diferentes ejercicios que son utilizados por los deportistas en los entrenamientos de fuerza.

Un aspecto que no podemos pasar por alto es la forma de ejecución en el trabajo de fuerza. Newton, et al. (1996) observó que cuando hacemos el ejercicio de press de banca con un peso determinado, al final del movimiento la velocidad tiende a 0, es decir, necesariamente se produce una fase de desaceleración que es más pronunciada cuanto menor es el % 1RM a levantar. Por tanto, es evidente sugerir que si se reduce la fase de frenado los efectos serán más positivos. La máxima reducción se conseguirá si el ejercicio se realiza lanzando la carga en cuestión (como es el caso del press de banca lanzado), en vez de fijarla en las manos al finalizar el movimiento. Así pues, la diferencia entre realizar el ejercicio de forma balística o no, se traduce en un aumento de la velocidad y la potencia.

El tipo de acción muscular realizada también es de especial relevancia a la hora de la monitorización de la carga. Las dos formas de realización más habituales del ejercicio de press de banca son sólo-concéntrico en el que la barra parte desde una posición estática cerca del pecho del ejecutante, y con ciclo estiramiento acortamiento (CEA) en el que la acción

excéntrica es inmediatamente seguida por la acción concéntrica. La ventaja del CEA es que el músculo es capaz de realizar una mayor cantidad de trabajo si es activamente elongado antes de que se produzca la acción dinámica concéntrica (Izquierdo, 2007). Por todo esto, González-Badillo & Ribas (2002), sugieren que no solo es importante cuantificar la intensidad y volumen del entrenamiento, sino que hay que tener en cuenta también la forma de ejecución.

Puesto que el press de banca es uno de los ejercicios más utilizados para el entrenamiento de fuerza del tren superior (Castillo et al., 2012), éste, ha sido también, uno de los ejercicios más utilizados para explorar la relación carga (%1RM) - velocidad (Balsalobre-Fernández, Marchante, Muñoz-López, & Jiménez, 2017; Jidovtseff et al., 2011; Pallarés, Sánchez-Medina, Pérez, De La Cruz-Sánchez, & Mora-Rodriguez, 2014). En este contexto, la presente tesis doctoral pretende explorar **las diferencias en las variables mecánicas entre 4 modalidades distintas de press de banca** (1. *Press de banca tradicional solo-concéntrico*; 2. *Press de banca tradicional con CEA*; 3. *Press de banca lanzado solo-concéntrico*; 4. *Press de banca lanzado con CEA*).

También tratar de examinar diferentes aspectos metodológicos que nos permitan **optimizar la determinación de la relación carga (%1RM)-velocidad en el ejercicio de press de banca**. Por último, se pretende indagar en **el método de dos puntos, como una propuesta práctica para una evaluación rápida y sin fatiga de la 1RM en press banca a través de la relación carga-velocidad individual**. Para concluir el presente apartado, se presenta una breve introducción de cada uno de los tópicos tratados en la presente Tesis Doctoral:



Figura 1. Sujeto realizando una ejecución de press de banca en máquina Smith.

1.1 Diferencias en las variables mecánicas entre las distintas modalidades del ejercicio de press de banca.

Numerosos estudios se han realizado para comparar los valores de fuerza, velocidad y potencia entre los distintos ejercicios tradicionales de entrenamiento de fuerza (p. ej. sentadilla y press banca) y sus variantes balísticas (p. ej. salto vertical y press banca lanzado) (Cronin & Marshall, 2003; Frost, Cronin, & Newton, 2008; Lake, Lauder, Smith, & Shorter, 2012). Desde los estudios de Newton et al. (1996), ha sido generalmente aceptado que los ejercicios balísticos permiten generar más fuerza, velocidad y potencia, así como una mayor activación muscular en comparación con sus variantes tradicionales.

Sin embargo, algunos estudios recientes han cuestionado las ventajas de los ejercicios balísticos sobre los tradicionales (Cronin & Marshall, 2003; Lake et al., 2012; Loturco, Pereira, et al., 2017). Curiosamente, estos resultados discrepantes han sido observados cuando se comparó el ejercicio de press de banca tradicional con el de press de banca lanzado a través de un transductor lineal de posición. Por lo tanto, es posible que estos resultados se deban a la incapacidad de los transductores lineales de posición para determinar el final de la fase concéntrica del movimiento ya que su cálculo parece incluir parte de la fase de vuelo (Jaric & Garcia-Ramos, 2018).

Cronin & Marshall (2003) no encontraron diferencias en la producción de fuerza entre press de banca tradicional y press de banca lanzado cuando se realizaron con la misma carga, mientras que los valores de velocidad fueron mayores para el press de banca lanzado. Estos resultados podrían deberse al mayor tiempo para aplicar fuerza en el ejercicio de press de banca lanzado. Sin embargo, algunos autores reportan mayores valores de potencia para el press de banca tradicional en comparación con el press de banca lanzado (Loturco, Pereira, et al., 2017), mientras que otros cuestionan la superioridad del salto vertical respecto a la sentadilla en cuanto al desarrollo de potencia (Lake et al., 2012).

En definitiva, es posible que tales discrepancias sea consecuencia de las limitaciones de los transductores lineales de posición para cuantificar las variables mecánicas durante los ejercicios balísticos (Jaric & Garcia-Ramos, 2018) o por el procedimiento usado para determinar la fase concéntrica (Frost et al., 2008; Lake et al., 2012). Los transductores lineales de posición están siendo cada vez más usados puesto que se trata de una herramienta relativamente asequible y práctica a la hora de monitorizar los efectos de distintos programas de entrenamiento de fuerza a través de la medición de los valores medios y máximos de diversas variables mecánicas (Harris, Cronin, Taylor, Boris, & Sheppard, 2010; Jovanović & Flanagan, 2014).

Cabe señalar que los siguientes 3 tipos de variables medias han sido comúnmente reportados en la literatura para valorar el rendimiento: (a) valores medios tradicionales (desde la primera velocidad positiva hasta que la barra alcanza la altura máxima), (b) valores medios propulsivos (desde la primera velocidad positiva, hasta que la aceleración de la barra es más baja que la gravedad ($-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) y (c) valores medios de la fase de aceleración positiva (desde la primera velocidad positiva hasta que la aceleración de la barra es negativa). En este sentido, valores medios tradicionales (Cronin & Marshall, 2003), valores medios propulsivos (Loturco, Pereira, et al., 2017), valores medios de la fase de aceleración positiva (Lake et al., 2012), y valores máximos (García-Ramos, et al., 2015), han sido utilizados para comparar las variables mecánicas entre los ejercicios de press de banca tradicional y press de banca lanzado. Por lo tanto, se hace necesaria una evaluación de todas estas variables mecánicas en un mismo estudio para obtener información más exhaustiva respecto a las diferencias mecánicas entre los ejercicios de press de banca tradicional y lanzado.

1.2 Optimización de la evaluación de la relación carga-velocidad en press banca.

Se ha afirmado que la relación carga-velocidad es bastante estable para un ejercicio dado, siendo independientemente de los niveles de fuerza de los sujetos evaluados (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). En cambio, la relación carga-velocidad puede variar entre diferentes ejercicios (Conceição et al., 2016; Sánchez-Medina et al., 2014) o incluso en el mismo ejercicio realizado con distintas técnicas de ejecución (Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014). Así pues, podríamos especular que el uso del CEA, mejoraría el rendimiento en comparación al uso de la ejecución solo-concéntrica.

Por otra parte, en los entrenamientos se suele incluir el ejercicio de press de banca lanzado (ejecución puramente balística) debido a que los ejercicios balísticos tiene una mayor similitud con los movimientos fundamentales y básicos de muchos deportes o de la actividad física en general (p.ej. lanzar o golpear un balón, realizar un salto de longitud, etc.) (Bosco, 2000). Está bien documentado que el press de banca lanzado produce una fuerza, una velocidad, una potencia y una actividad muscular mayor que el press de banca tradicional (García-Ramos, Haff, Padial, & Feriche, 2018; Newton, Kraemer, Hakkinen, Humphries, & Murphy, 1996). Por lo tanto, es de interés determinar la relación carga-velocidad en todas las modalidades de press de banca existentes, así como explorar las diferencias y asociaciones que pueden existir entre ellas.

Por otra parte, una de las cuestiones metodológicas más importantes relacionadas con el enfoque de entrenamiento basado en la velocidad podría ser la selección de la variable utilizada para modelar la relación carga-velocidad, ya sean; la VM (velocidad promedio desde el comienzo de la fase concéntrica hasta que la barra alcanza la máxima altura), la VMP (velocidad media desde el inicio de la fase concéntrica hasta que la aceleración de la barra es inferior a la gravedad $[(-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2})]$), o la Vmax (valor máximo de velocidad instantánea alcanzado durante la fase concéntrica). Por lo que sería de interés identificar la variable que proporciona la ecuación general de la relación carga-velocidad con mayor precisión (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014).

Aunque el estudio de las variables a usar en la relación carga-velocidad en el press de banca tradicional ha sido ampliamente explorado (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Loturco, Kobal, et al., 2017; Picerno et al., 2016; Sánchez-Medina et al., 2014), existe una escasez de conocimientos sobre qué variables sería conveniente utilizar en la relación carga-velocidad en el press de banca lanzado. Además, hasta la fecha ningún estudio ha comparado la fiabilidad entre sesiones para las distintas variables de velocidad (VM, VMP y Vmax) que pueden utilizarse para modelar la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca tradicional.

Por último, la relación carga-velocidad se ha utilizado para predecir la 1RM a través de modelos de regresión lineal (Banyard, Nosaka, Sato, & Haff, 2017; Conceição et al., 2016; Jidovtseff et al., 2011) y modelos de regresión polinomial (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014). Sin embargo, para nuestro conocimiento ningún estudio ha determinado cuál de estos dos modelos de regresión proporciona el método más fiable para determinar la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca.

1.3 Método de dos puntos: propuesta para una evaluación rápida y sin fatiga de la repetición-máxima en press banca.

La determinación de la relación carga-velocidad es el método indirecto que más atención ha recibido en los últimos años para predecir la 1RM (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jovanović & Flanagan, 2014; Mann, Ivey, & Sayers, 2015). La relación carga-velocidad de un ejercicio dado ha demostrado ser muy estable independientemente del valor de 1RM del sujeto (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017). Estos resultados han alentado a los investigadores a proponer el uso de "ecuaciones de grupo generalizadas" para diferentes ejercicios básicos de entrenamiento de resistencia (p. ej. press de banca, pull-up, sentadillas, prensa de piernas, etc.) que predicen la 1RM a través de la velocidad de movimiento tan pronto como la primera repetición se ha realizado a la máxima velocidad intencionada. La primera ecuación de grupo generalizada fue propuesta por González-Badillo & Sánchez-Medina (2010) para el ejercicio de press de banca tradicional

solo-concéntrico. Estos autores encontraron que a través de la VM y VMP se puede predecir el %1RM con un alto grado de precisión ($r^2 > 0,97$). Sin embargo, hasta donde sabemos, la validación cruzada de estas ecuaciones de grupo generalizadas a otras muestras todavía está por explorar. También se desconoce si la validez de las ecuaciones de grupo generalizadas propuestas puede depender de la magnitud del valor de la velocidad utilizado para la predicción, así como si estas ecuaciones podrían ser exactas en otras modalidades de press de banca.

En aparente oposición con el uso de ecuaciones de grupo generalizadas podrían estar los resultados de estudios recientes que han mostrado diferencias marcadas entre sujetos en los perfiles de fuerza-velocidad (Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli, & Morin, 2017; Samozino et al., 2014). Estos resultados sugieren que la evaluación individual de la relación carga-velocidad debería ser recomendada para una predicción más exacta de la 1RM. Sin embargo, la prueba estándar utilizada para determinar la relación carga-velocidad se basa en múltiples cargas externas (usualmente entre 5 y 9), lo cual puede ser poco práctico cuando se realiza con mucha frecuencia.

Sin embargo, dado que la relación carga-velocidad es bastante lineal, la adición de cargas intermedias a las dos cargas más alejadas de la relación debería tener efectos triviales sobre los resultados finales de la relación carga-velocidad (Jaric, 2016; Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial, & García-Ramos, 2017). A este respecto, sería importante explorar la factibilidad del método de 2 puntos propuesto recientemente por Jaric (2016), ya que sería un procedimiento rápido, sin fatiga y práctico para predecir la 1RM. Así pues, el método de 2 puntos, el cual es un método indirecto de predicción de la 1RM a partir de la velocidad registrada ante dos cargas externas, una ligera, y otra pesada, puede permitir el modelado de la relación carga-velocidad individual para predecir el 1RM.

2. Objetivos e Hipótesis.

- **Objetivo e hipótesis general.**

El principal objetivo de la presente Tesis Doctoral fue el de profundizar en el estudio de la velocidad de ejecución como variable a considerar para determinar la carga relativa (% 1RM) en distintas modalidades del ejercicio de press de banca realizado en máquina Smith. Partimos de la hipótesis de que la relación carga-velocidad individual nos permitiría una estimación de la 1RM más precisa que las ecuaciones de grupo anteriormente propuestas.

- **Objetivos e hipótesis específicos.**

Estudio I: (1) analizar el efecto del tipo de variable sobre las diferencias en los valores de fuerza, velocidad y potencia en el press de banca tradicional y lanzado y (2) conocer si las diferencias podrían ser dependientes de la técnica de ejecución (solo-concéntrico y con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA)). Nuestras hipótesis fueron que (1) las diferencias mecánicas entre los ejercicios de press de banca tradicional y lanzado dependerían del tipo de variable utilizada, y (2) para un mismo tipo de variable las diferencias entre el press de banca tradicional y press de banca lanzado no diferirían entre las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA.

Estudio II: (1) comparar la relación carga-velocidad entre las 4 modalidades de press de banca, y (2) relacionar la VM de ejecución entre las 4 modalidades. Nosotros hipotetizamos que (1) la relación carga-velocidad será específica de cada modalidad de press de banca, mostrando mayores velocidades para los mismos % 1RM en la ejecución balística y con CEA, y (2) la VM asociada a cada % 1RM no se correlacionará significativamente entre las 4 modalidades de press de banca asumiendo que la relación carga-velocidad es independiente del sujeto.

Estudio III: (1) comparar la fiabilidad de la relación carga-velocidad entre-sesiones, utilizando un modelo de regresión lineal y el modelo de regresión polinomial en las 2 modalidades del ejercicio de press de banca tradicional, (2) comparar la fiabilidad de la relación carga-velocidad

entre-sesiones entre las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA y (3) comparar la variabilidad intra-sujeto e inter-sujetos de la velocidad alcanzada para cada %1RM. La hipótesis que contemplamos fue que (1) la relación carga-velocidad se determinaría con mayor fiabilidad con el modelo de regresión lineal, (2) la relación carga-velocidad podría ser determinada con mayor fiabilidad con la técnica de ejecución solo-concéntrico que con CEA, y (3) no se observarían diferencias significativas en la variabilidad de la VM en cada %1RM entre regresiones individuales y generales de carga-velocidad ya que la relación carga-velocidad ha demostrado ser independiente de los valores de fuerza de los individuos (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kopal, et al., 2017).

Estudio IV: este estudio tuvo como objetivo comparar entre las 3 variables que se suelen utilizar para cuantificar la carga de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VM, VMP, Vmax): (1) la linealidad de la relación carga-velocidad, (2) la precisión de la ecuación general de carga-velocidad para predecir la carga relativa (% 1RM), y (3) la fiabilidad entre las sesiones de la velocidad alcanzada para cada % 1RM. Nuestra hipótesis fue que la VMP, siguiendo lo expuesto por Sánchez-Medina et al. (2010), sería la variable más apropiada para el monitorizar la carga relativa (% 1RM) en el ejercicio de press de banca lanzado.

Estudio V: comparar la validez y la fiabilidad de las ecuaciones generales de carga-velocidad para estimar la 1RM en press de banca tradicional respecto a la relación carga-velocidad individualizada modelada a través del método de dos puntos. Nuestras hipótesis fueron que: (1) la 1RM estimada por el método de 2 puntos presentará un mayor nivel de concordancia con la 1RM real respecto al estimado con las ecuaciones generales de carga-velocidad, y (2) el método directo será el más fiable para determinar la 1RM.

3. Material y Método.

El apartado de material y método se presenta a continuación para cada uno de los estudios que componen la memoria de la presente Tesis Doctoral. Obsérvese que los procedimientos que se repiten entre los diferentes estudios solo se describen en el primer estudio en el que aparecen. Los aspectos más relevantes de este apartado se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Resumen de las principales características metodológicas de los estudios incluidos en la presente tesis doctoral.

	Diseño	Participantes	Procedimiento	Análisis Estadístico
I. Comparison of mechanical outputs between the traditional and ballistic bench press exercise: influence of the type of variable.	Diseño cruzado aleatorizado	21 hombres físicamente activos.	4 series de 3 repeticiones con una carga de 27 kg.	- ANOVA de medidas de dos factores (tipo de ejercicio y ejecución técnica). - Tamaño del efecto de Cohen [ES]
II. Differences in the load-velocity profile between four bench press variants.	Diseño cruzado aleatorizado	30 hombres físicamente activos.	Test de carga incremental desde los 17 kg hasta la 1RM	- ANOVA de medida repetida de un factor (modalidad de press de banca) - Modelos de regresión lineal.
III. Reliability of the bench press load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models.	Diseño cruzado aleatorizado	30 hombres físicamente activos.	Test de carga incremental desde los 17 kg hasta la 1RM	- ANOVA de medidas repetidas de dos factores (modalidad de press de banca y modelo de regresión). - Modelos de regresión lineal y polinómica. - Análisis de fiabilidad: coeficiente de variación y coeficiente de correlación intraclase.

<p>IV. Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability?</p>	<p>Diseño cruzado aleatorizado</p>	<p>30 hombres físicamente activos.</p>	<p>Test de carga incremental desde los 17 kg hasta la 1RM</p>	<p>- ANOVA de medidas repetidas de dos factores (modalidad de press de banca y variable de velocidad). - Modelos de regresión lineal. - Análisis de fiabilidad: coeficiente de variación y coeficiente de correlación intraclase.</p>
<p>V. Feasibility of the two-point method for determining the one-repetition maximum in the bench press exercise.</p>	<p>Diseño cruzado aleatorizado</p>	<p>30 hombres físicamente activos</p>	<p>Test de carga incremental desde los 17 kg hasta la 1RM</p>	<p>- Análisis de validez: Prueba t de muestras pareadas, tamaño de efecto de Cohen [ES], coeficiente de correlación de Pearson (r), y gráficos de Bland-Altman. - Análisis de fiabilidad: coeficiente de variación y coeficiente de correlación intraclase.</p>

ESTUDIO I: Comparison of mechanical outputs between the traditional and ballistic bench press exercise: influence of the type of variable.**Participantes**

21 hombres físicamente activos (edad $22,0 \pm 4,2$ años; masa corporal $73,4 \pm 7,7$ kg; altura $177,2 \pm 8,0$ cm) participaron en el presente estudio. Los criterios de inclusión en el estudio fueron: (a) que tuvieran al menos 1 año de experiencia en la realización del ejercicio de press de banca, (b) que la 1RM en el ejercicio de press de banca tradicional solo-concéntrico estuviera entre 70 y 100 kg, con el fin de asegurar que la carga evaluada (27 kg) representara un %1RM similar para todos los sujetos y (c) estar libre de problemas de salud o lesiones musculoesqueléticas recientes que puedan comprometer el rendimiento evaluado. Se les informó a los sujetos de los procedimientos del estudio y se firmó un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar el estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki.

Diseño.

Se utilizó un diseño cruzado aleatorizado para comparar el desempeño del press de banca tradicional y lanzado a través de la evaluación de diferentes variables que se suelen evaluar con un transductor lineal de posición. Después de 2 sesiones de familiarización, con el propósito de asegurarnos una técnica adecuada en todos los ejercicios, los sujetos asistieron al laboratorio en 2 ocasiones separadas por 48-72 horas. La 1RM en el press de banca tradicional solo-concéntrico fue determinada en la primera sesión de evaluación. En la segunda sesión, los sujetos realizaron 4 series de 3 repeticiones contra una carga de 27 kg (correspondiente al $33,4 \pm 2,8\%$ 1RM) en las siguientes modalidades de press de banca: (a) press de banca tradicional solo-concéntrico, (b) press de banca tradicional con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA), (c) press de banca lanzado solo-concéntrico y (d) press de banca lanzado con CEA.

Procedimiento.

Los sujetos realizaron cada repetición de press de banca utilizando la técnica estándar de posición de contacto con cinco puntos (cabeza, parte superior de la espalda y nalgas firmemente sobre el banco con los dos pies planos en el suelo), y se les midió el ancho de

agarre de la barra (ligeramente superior al ancho de los hombros) que se mantuvo constante durante todas las pruebas para cada sujeto. Dos ayudantes experimentados estaban situados a cada lado de la barra para garantizar la seguridad. Los sujetos recibieron un conocimiento de resultado inmediato del rendimiento de velocidad obtenido después de cada repetición para alentarlos a dar el máximo esfuerzo.

En la primera sesión, se realizó un test de carga incremental para determinar la 1RM en el press de banca tradicional solo-concéntrico. El calentamiento consistió en realizar carrera continua, ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos, y 2 series de 5 repeticiones realizadas contra una carga de 20 a 30 kg. Después de esto, la carga fue incrementando de 10 kg a 1 kg hasta alcanzar la 1RM. El descanso entre series fue de 4 minutos y 1-2 repeticiones fueron realizadas con cada carga. Una media de $5,8 \pm 2,1$ series fueron necesarias para alcanzar la carga de 1RM.

El calentamiento en la segunda sesión de evaluación, consistió en carrera continua, estiramientos dinámicos, movilidad articular, seguido de 2 series de 6 repeticiones contra una carga externa de 27 kg. En una serie del calentamiento se realizó el press de banca solo-concéntrico y en la otra el press de banca con CEA, siendo la mitad de las repeticiones realizadas en la modalidad de press de banca tradicional, y la otra mitad de press de banca lanzado. Una vez el calentamiento finalizó, los sujetos realizaron 3 repeticiones en 4 modalidades diferentes del ejercicio de press de banca (press de banca tradicional solo-concéntrico; press de banca tradicional con CEA; press de banca lanzado solo-concéntrico y press de banca lanzado con CEA) contra una carga fija de 27 kg. El orden de las 4 modalidades fue aleatorizado. El descanso entre cada repetición con la misma modalidad de press de banca fue de 10 segundos, y el descanso entre series de 4 minutos. Las características de los ejercicios fueron las siguientes:

- *Press de banca tradicional solo-concéntrico:* se usó un soporte mecánico para mantener la barra paralela a 1-2 cm del pecho del ejecutante. Desde esa posición inicial, los sujetos levantaron la barra lo más rápido posible hasta que sus codos alcanzaron la extensión completa. Las manos de los sujetos estuvieron en contacto con la barra durante todo el movimiento.

- Press de banca lanzado solo-concéntrico: la técnica de ejecución fue idéntica a la anterior, con la única diferencia que los sujetos fueron instruidos a lanzar la barra lo más alto posible. Dos ayudantes entrenados fueron responsables de agarrar la barra durante el movimiento de descenso.
- Press de banca tradicional con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA): se inicia el movimiento con los codos completamente extendidos. A partir de esta posición, los sujetos fueron instruidos para realizar la acción excéntrica (bajada) y concéntrica (subida) a la máxima velocidad posible. La barra se bajó hasta entrar en contacto con el pecho de los sujetos y se terminó el movimiento con los brazos en extensión completa. Las manos de los sujetos estuvieron en contacto con la barra durante todo el movimiento.
- Press de banca lanzado con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA): la técnica de ejecución fue idéntica a la anterior, con la única diferencia que los sujetos fueron instruidos a lanzar la barra lo más alto posible. Dos ayudantes entrenados fueron responsables de agarrar la barra durante el movimiento de descenso.

Equipo de medición y análisis de datos.

La altura (Seca 202, Ltd, Hamburgo, Alemania) y la masa corporal (Tanita BC 418 segmental, Tokio, Japón) se evaluaron en la primera sesión de familiarización. Una máquina Smith (Technogym, Barcelona, España) fue usada en todas las sesiones junto con un transductor lineal de velocidad (T-Force System, Ergotech, Murcia), el cual muestreó directamente la velocidad de movimiento con una frecuencia de 1.000 Hz. Las variables mecánicas derivadas se calcularon a partir de la velocidad de la barra registrada por el software del T-Force de la siguiente manera: (a) la aceleración se obtuvo como una derivada del tiempo y velocidad; (b) la fuerza a través de la suma del peso de la barra (masa x gravedad) y la inercia (masa x aceleración); (c) la potencia se calculó como el producto de fuerza y velocidad. Solo la repetición que registró la mayor VMP para cada ejercicio fue seleccionada para su posterior análisis (Sanchez-Medina et al., 2010). Las variables analizadas fueron las siguientes:

- ✓ **Valores medios tradicionales**: Valores medios de fuerza, velocidad y potencia desde la primera velocidad positiva de la barra (es decir, comienzo de la fase concéntrica) hasta que la velocidad de la barra llegó a ser $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (es decir, cuando la barra alcanza la máxima altura).

- ✓ **Valores medios propulsivos:** Valores medios de fuerza, velocidad y potencia desde el inicio de la fase concéntrica hasta que la aceleración de la barra fue menor que la gravedad.
- ✓ **Valores medios acelerativos:** Valores medios de fuerza, velocidad y potencia desde el inicio de la fase concéntrica hasta el primer momento que la aceleración de la barra es negativa (es decir, cuando la barra alcanzó la velocidad máxima).
- ✓ **Valores máximos:** Valores máximos instantáneos de fuerza, velocidad y potencia alcanzados durante la fase concéntrica.
- ✓ **Curvas normalizadas de fuerza, velocidad, y potencia respecto al tiempo de ejecución:** valores de fuerza, velocidad y potencia fueron normalizados respecto a la duración de la fase concéntrica (es decir, hasta que la barra alcanzó la altura máxima) en intervalos del 1% (desde 1% al 100%). Los valores de fuerza, velocidad y potencia alcanzadas en el punto de tiempo más cercano (1 ms) a cada porcentaje de la duración de la fase concéntrica se determinaron individualmente para cada sujeto. Luego, la media conjunta de los valores de los sujetos en cada punto del tiempo (es decir, para cada % de la duración de la fase concéntrica) fue calculado para cada ejercicio.



Figura 2. Máquina Smith y transductor lineal de velocidad utilizados en las mediciones.

Análisis Estadístico.

Los datos son presentados como media \pm SD. Un test ANOVA de medidas repetidas (tipo de ejercicio [press de banca tradicional vs press de banca lanzado] \times (técnica de ejecución [solo-concéntrico vs CEA]) con las correcciones post hoc de Bonferroni fue aplicado para cada variable mecánica evaluada. El tamaño del efecto de Cohen (ES) con el correspondiente intervalo de confianza al 90% también se utilizó para evaluar la magnitud de las diferencias de acuerdo a la siguiente escala: trivial (0,2), pequeño (0,2–0,5), moderado (0,5–0,8), y grande (0,8). La significación se aceptó a $P < 0,05$. El paquete estadístico SPSS (versión 22,0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) fue usado para el ANOVA, mientras que el tamaño de efecto (ES) fue calculado por medio de una hoja de cálculo de Excel personalizada.

ESTUDIO II: Differences in the load-velocity profile between four bench press variants.**Participantes.**

Treinta hombres físicamente activos de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Granada participaron en este estudio (edad $21,2 \pm 3,8$ años; masa $72,3 \pm 7,3$ kg; altura $1,78 \pm 0,07$ m; IMC $22,8 \pm 1,9$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Los sujetos fueron instruidos para evitar cualquier ejercicio extenuante 2 días antes de cada sesión de prueba. Se les informó de los procedimientos del estudio y se firmó un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar el estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki.

Diseño.

Se utilizó un diseño cruzado aleatorizado para comparar la relación carga-velocidad entre 4 modalidades del ejercicio de press banca. Después de 2 sesiones de familiarización, en las que los sujetos recibieron instrucciones sobre cómo realizar adecuadamente las 4 modalidades de press de banca, los sujetos acudieron al laboratorio en 8 ocasiones diferentes, 2 veces por semana, durante 4 semanas consecutivas, con al menos 48 horas de descanso entre cada sesión. Los sujetos fueron evaluados de solo una modalidad de press de banca a la semana las cuales fueron ordenadas de manera aleatoria. La primera sesión de la semana sirvió para una mayor familiarización con la modalidad en cuestión y los datos de la segunda sesión se utilizaron para el análisis estadístico. Durante las 8 sesiones, se determinó la relación carga-velocidad individual mediante un test de carga incremental siguiendo el procedimiento estándar propuesto por Sanchez-Medina et al. (2010). Las sesiones de evaluación se realizaron a la misma hora del día para cada sujeto (± 1 h) y bajo condiciones ambientales similares ($\sim 22^\circ\text{C}$ y $\sim 60\%$ de humedad).

Procedimiento.

Cada sesión de prueba comenzó con un calentamiento estandarizado de 10 minutos, que incluyó carrera continua a baja intensidad, estiramiento dinámico, movilización de los miembros superiores y 5 repeticiones realizadas a alta velocidad con una carga externa de 17 kg (masa de la barra de la máquina Smith) en la modalidad de press de banca realizada en la sesión en cuestión. La carga externa inicial del test se fijó en 17 kg y se incrementó

progresivamente en 10 kg hasta que la VMP alcanzada fue inferior a $0,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A partir de ese momento, la carga se incrementó progresivamente de 5 a 1 kg hasta que se alcanzó la 1RM. Para las cargas ligeras ($\text{VMP} > 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) se realizaron 3 repeticiones por carga, 2 para las cargas medias ($0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \leq \text{VMP} \leq 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y solo una para las cargas pesadas ($\text{VMP} < 0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). El descanso entre repeticiones fue de 10 s y el reposo entre las series fue de 5 minutos. Los sujetos realizaron cada repetición de press banca utilizando la técnica estándar de posición de contacto con 5 puntos (cabeza, parte superior de la espalda y nalgas firmemente sobre el banco con los dos pies planos en el suelo), y se les midió el ancho de agarre ligeramente superior al ancho de los hombros que se mantuvo constante durante todas las pruebas para cada sujeto. Dos ayudantes experimentados estaban situados a cada lado de la barra para asegurar la seguridad. Los sujetos recibieron un conocimiento de resultado inmediato del rendimiento de velocidad obtenido después de cada repetición para alentarlos a dar el máximo esfuerzo. Las 4 modalidades de press de banca evaluadas fueron las mismas que las descritas en el estudio anterior, es decir:

- *Press de banca tradicional solo-concéntrico*: se usó un soporte mecánico para mantener la barra paralela a 1-2 cm del pecho del ejecutante. Desde esa posición inicial, los sujetos levantaron la barra lo más rápido posible hasta que sus codos alcanzaron la extensión completa. Las manos de los sujetos estuvieron en contacto con la barra durante todo el movimiento.
- *Press de banca lanzado solo-concéntrico*: la técnica de ejecución fue idéntica a la anterior, con la única diferencia que los sujetos fueron instruidos a lanzar la barra lo más alto posible. Dos ayudantes entrenados fueron responsable de agarrar la barra durante el movimiento de descenso. Sin embargo, debe de tenerse en cuenta que con cargas pesadas ($\geq 75\%$ 1RM), la barra no puede lanzarse, por lo que los sujetos completaron la prueba usando la anterior modalidad.
- *Press de banca tradicional con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA)*: se inicia el movimiento con los codos completamente extendidos. A partir de esta posición, los sujetos fueron instruidos para realizar la acción excéntrica (bajada) y concéntrica (subida) a la máxima velocidad posible. La barra se bajó hasta entrar en contacto con el pecho de los sujetos y se terminó el movimiento con los brazos en extensión completa. Las manos de los sujetos estuvieron en contacto con la barra durante todo el movimiento.

- Press de banca lanzado con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA): la técnica de ejecución fue idéntica a la anterior, con la única diferencia que los sujetos fueron instruidos a lanzar la barra lo más alto posible. Dos ayudantes entrenados fueron responsables de agarrar la barra durante el movimiento de descenso. Sin embargo, debe de tenerse en cuenta que con cargas pesadas ($\geq 75\%$ 1RM), la barra no puede lanzarse, por lo que los sujetos completaron la prueba usando la anterior modalidad.

Equipo de medición y análisis de datos.

El equipo de medición fue el mismo que se utilizó en el estudio anteriormente descrito. Se utilizó para el análisis posterior la repetición con la VM más alta de cada carga, puesto que un mayor número de dispositivos pueden monitorizar con precisión esta variable (Balsalobre-Fernández et al., 2017). La VM alcanzada para cada %1RM (del 20% 1RM al 100% 1RM en incrementos del 5%) así como la VM velocidad media del test (promedio de VM de todos los %RM) fueron obtenidas a partir de las relaciones carga-velocidad individuales. Además, se determinaron las relaciones carga-velocidad generales para cada una de las modalidades de press de banca analizadas.

Análisis Estadístico.

Los datos se presentan como medias y SD, mientras que el coeficiente de determinación de Pearson (r^2) se presenta a través de la mediana y el rango. La relación entre VM y %1RM se estableció por medio de una regresión lineal (Banyard, Nosaka, & Haff, 2017; Conceição et al., 2016). La bondad de ajuste fue evaluada por r^2 y por el error estándar de la estimación (SEE). Para comparar la bondad de ajuste de las relaciones carga-velocidad individuales entre las cuatro modalidades de press banca se aplicó un ANOVA de un factor con la prueba post-hoc de Bonferroni sobre los coeficientes de correlación de Pearson (r) a los que previamente se les aplicó la transformación Z de Fisher. La carga de la 1RM y la VM obtenida en la ejecución de la 1RM (V1RM), se compararon entre ambas técnicas de ejecución (solo concéntrica y con CEA) a través de la prueba t para muestras pareadas. El tamaño de efecto g de Hedge's fue calculado para determinar la magnitud de las diferencias. La asociación entre la media de la velocidad de cada test, la carga de la 1RM y la V1RM, se cuantificó a través del coeficiente r . La significación se aceptó a $P < 0,05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, EE.UU).

ESTUDIO III: Reliability of the bench press load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models.**Participantes.**

Misma muestra que la descrita en el Estudio II.

Diseño.

Se utilizó un diseño cruzado aleatorizado para comparar la fiabilidad de la relación carga-velocidad en las modalidades de press de banca tradicional (solo-concéntrico y con CEA) obtenidas a través de 2 modelos de regresión (lineal y polinomial). Después de 2 sesiones de familiarización, los participantes acudieron al laboratorio en 4 ocasiones, 2 veces por semana, con al menos 48 horas de descanso entre ellos. Las dos sesiones con la misma modalidad de press banca se realizaron en la misma semana. El orden de las modalidades de press banca fue aleatorizado. La relación carga-velocidad individual se estableció en cada sesión de prueba mediante una prueba de carga incremental siguiendo el procedimiento estándar (Sanchez-Medina et al., 2010). Se realizaron sesiones de prueba a la misma hora del día para cada participante (± 1 h) y bajo condiciones ambientales similares ($\sim 22^{\circ}\text{C}$ y $\sim 60\%$ de humedad).

Procedimiento.

Cada sesión de prueba comenzó con un calentamiento estandarizado de 10 minutos (véase el calentamiento descrito en el Estudio II). La carga externa inicial se fijó en 17 kg y se incrementó progresivamente hasta alcanzar la 1RM (véase el test de carga incremental descrito en el Estudio II). Las características específicas de las 2 modalidades de press de banca tradicional evaluadas (es decir, con la técnica de ejecución solo-concéntrica y con CEA), han sido descritas anteriormente en este mismo punto (véase Estudio II).

Equipo de medición y análisis de datos.

Se utilizó el mismo equipo de medición que en los estudios anteriormente citados. Únicamente la repetición de cada carga con la mayor VM fue usada para el posterior análisis. La VM alcanzada en cada % 1RM (en incrementos del 5% desde el 20% 1RM hasta el 100%

1RM), se obtuvieron a partir de las relaciones individuales de carga-velocidad obtenidas a partir de modelos de regresión lineal y polinomial de segundo orden. Además, se determinaron las relaciones carga-velocidad generales para cada uno de los modelos de regresión.

Análisis Estadístico.

Los datos descriptivos se presentan como medias y SD. La relación entre carga relativa (% 1RM) y VM fue establecida mediante los modelos de regresión lineal y polinomial. La bondad de ajuste se evaluó por el coeficiente de determinación de Pearson (r^2) y el estadístico F de Fisher. La fiabilidad absoluta se evaluó a través del CV. Los valores de CV individuales se calcularon para cada participante y por separado para cada % 1RM como $CV (\%) = ((SD \text{ de las sesiones 1 y 2} / \text{valor medio de las sesiones 1 y 2}) \times 100)$. Un ANOVA de medidas repetidas de dos factores (modalidad de press de banca tradicional [solo-concéntrico y con CEA] \times modelo de regresión [lineal y polinomial]) con la prueba post-hoc de Bonferroni se aplicó a los valores de CV individuales para evaluar las diferencias de fiabilidad entre los tipos de press de banca tradicional y los modelos de regresión para cada %1RM. Se calculó el CV para cada % 1RM utilizando una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000). Como $CV (\%) = (\text{Error estándar de la medida} / \text{puntuación media de los participantes}) \times 100$, y se usó el ratio entre los dos CV para comparar la fiabilidad de las diferentes modalidades de PB tradicional y de los diferentes modelos de regresión usados.

El ratio entre dos CV se utilizó para comparar los CV individuales (calculado a partir del error estándar de medición como se describió anteriormente) y CV grupal ($CV (\%) = \text{Desviación Típica (SD) entre distintos sujetos} / \text{puntuación media de los sujetos} \times 100$) para cada %1RM en cada modalidad de press de banca tradicional y de modelo de regresión evaluado. Se consideró que existieron diferencias importantes cuando el ratio entre los CV fue superior a 1,15 (Fulton, Pyne, Hopkins, & Burkett, 2009). La fiabilidad relativa se calculó determinando el Coeficiente de correlación intraclase (CCI) con un intervalo de confianza del 95% para cada %1RM. El análisis de fiabilidad fue realizado mediante la hoja de cálculo personalizada anteriormente citada. Todos los demás análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, EE.UU), la significación se aceptó a $P < 0,05$.

ESTUDIO IV: Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability?**Participantes.**

Misma muestra que la descrita en los estudios anteriores (Estudio II y Estudio III).

Diseño.

Se utilizó un diseño cruzado aleatorizado para comparar la linealidad, precisión y fiabilidad de la relación carga-velocidad obtenida a partir de las 3 variables que se suelen evaluar en el entrenamiento basado en la velocidad (VM, VMP, Vmax) en las modalidades de press de banca lanzado con sus 2 técnicas de ejecución; solo-concéntrico y con CEA. Después de 2 sesiones de familiarización, los sujetos acudieron al laboratorio en 4 ocasiones, dos veces por semana, con al menos 48 horas de descanso entre cada sesión. Las 2 sesiones con la misma ejecución técnica, se realizaron en la misma semana. El orden de las modalidades de press de banca lanzado fue aleatorizado. La relación carga-velocidad individual se estableció en cada sesión de prueba mediante una prueba de carga incremental siguiendo el procedimiento estándar (Sanchez-Medina et al., 2010). Se realizaron sesiones de prueba a la misma hora del día para cada sujeto (± 1 h) y bajo condiciones ambientales similares ($\sim 22^\circ$ C y $\sim 60\%$ de humedad).

Procedimiento.

Cada sesión de prueba comenzó con un calentamiento estandarizado de 10 minutos (véase el calentamiento descrito en el Estudio II). La carga externa inicial del test se fijó en 17 kg y se incrementó progresivamente hasta alcanzar la 1RM (véase el test de carga incremental descrito en el Estudio II). Las características específicas de las 2 modalidades de press de banca lanzado evaluadas (solo-concéntrico y con CEA) han sido descritas anteriormente en este mismo punto (véase Estudio II).

Equipo de medición y análisis de datos.

Se utilizó el mismo equipo de medición que en los estudios anteriormente citados. Las tres variables de velocidad que fueron calculadas en el presente estudio fueron:

- ✓ Velocidad media (VM): valor de la velocidad media desde que comienza la fase concéntrica hasta que la barra alcanza la máxima altura.
- ✓ Velocidad media propulsiva (VMP): valor de la velocidad media desde que comienza la fase concéntrica hasta que la aceleración de la barra se encuentra por debajo de la gravedad ($-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (Sanchez-Medina et al., 2010).
- ✓ Velocidad máxima (Vmax): valor máximo de velocidad alcanzado durante la fase concéntrica.

Para el análisis posterior se utilizó la repetición con el valor de velocidad más alto para cada una de las 3 variables anteriormente citadas. Las VM, VMP y Vmax alcanzados en cada % 1RM (en incrementos del 5% desde el 20% 1RM hasta el 100% 1RM), se obtuvieron a partir de las relaciones de carga-velocidad individuales modeladas a través de una regresión lineal.

Análisis Estadístico.

Los datos se presentan como medias y desviaciones estándar, mientras que el coeficiente de determinación de Pearson (r^2) se presenta a través de la mediana y el rango. La relación entre la carga relativa (% 1RM) y las variables de la velocidad (VM, VMP y Vmax) se estableció mediante modelos de regresión lineal. La bondad de ajuste fue evaluada por r^2 y por el error estándar de la estimación (SEE). El coeficiente de correlación de Pearson (r) transformado por la Z de Fisher de las relaciones carga-velocidad individuales fueron comparadas a través de un ANOVA de medidas repetidas de dos factores (tipo de variable [VM vs. VMP vs. Vmax] x modalidad del press de banca lanzado [solo-concéntrico vs. CEA]) con la corrección post-hoc de Bonferroni. El ratio entre dos coeficientes de variación (CV) fue usado para comparar la fiabilidad de la relación carga-velocidad entre las tres variables de velocidad y 1,15 se consideró como el umbral mínimo para sugerir diferencias importantes en fiabilidad (Fulton et al., 2009). El análisis de fiabilidad se realizó mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000). Todos los demás análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, EE.UU). La significación se aceptó a $P < 0,05$.

ESTUDIO V: Feasibility of the two-point method for determining the one-repetition maximum in the bench press exercise.**Participantes.**

Misma muestra que la descrita en los estudios anteriores (Estudio II, Estudio III y Estudio IV).

Diseño.

Se utilizó un diseño cruzado aleatorizado para explorar la fiabilidad y validez de las ecuaciones generalizadas de grupo y del método de 2 puntos para determinar la 1RM en el ejercicio de press de banca tradicional. Después de 2 sesiones de familiarización, los participantes acudieron al laboratorio en 4 ocasiones, dos veces por semana, con al menos 48 horas de descanso entre ellas. Las 2 sesiones con la misma modalidad de press banca se realizaron en la misma semana. El orden de las modalidades de press banca tradicional fue aleatorizado. La relación carga-velocidad individual se estableció en cada sesión de prueba mediante una prueba de carga incremental siguiendo el procedimiento estándar propuesto por Sanchez-Medina et al. (2010). Las sesiones de prueba se realizaron a la misma hora del día para cada participante (± 1 h) y bajo condiciones ambientales similares ($\sim 22^{\circ}\text{C}$ y $\sim 60\%$ de humedad).

Procedimiento.

Cada sesión de prueba comenzó con un calentamiento normalizado de 10 minutos (véase el calentamiento descrito en el Estudio II). La carga externa inicial del test se fijó en 17 kg y se incrementó progresivamente hasta alcanzar la 1RM (véase el test de carga incremental descrito en el Estudio II). Las características específicas de las 2 modalidades de press de banca tradicional (es decir, con la técnica de ejecución solo-concéntrica y con CEA), han sido descritas anteriormente en este mismo punto (véase Estudio II).

Equipo de medición y análisis de datos.

Se utilizó el mismo equipo de medición que en los estudios anteriormente citados. La VM y la VMP fueron medidas en todas las repeticiones. El principio de la fase concéntrica para ambas modalidades de press de banca tradicional fue definido como el inicio de la velocidad positiva. La aceleración de la barra fue obtenida como una derivada de los datos de tiempo y

velocidad. La VM se calculó como la velocidad media desde el inicio de la fase concéntrica (es decir, al inicio de la velocidad positiva) hasta que la barra alcanzó la altura máxima (es decir, velocidad igual a cero). La VMP se calculó como la velocidad promedio del inicio de la fase concéntrica hasta que la aceleración de la barra fue inferior a la gravedad ($-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Hay que tener en cuenta que con cargas altas ($\geq 80\%1\text{RM}$), la VM y la VMP son idénticas en el ejercicio de press de banca puesto que la aceleración de la barra es siempre mayor que la gravedad (Sanchez-Medina et al., 2010)

Dos procedimientos diferentes fueron utilizados para estimar la 1RM a partir de la velocidad de la barra (**Figura 3**):

- ✓ Ecuaciones generales de carga-velocidad: la precisión de las ecuaciones generales propuestas por González-Badillo & Sánchez-Medina (2010) para estimar la 1RM en el press de banca tradicional a partir de la VM ($\%1\text{RM} = 7,5786 \times \text{VM}^2 - 75,865 \times \text{VM} + 113,02$) y la VMP ($\%1\text{RM} = 8,4326 \times \text{VMP}^2 - 73,501 \times \text{VMP} + 112,33$) fue evaluada. Los autores informaron en su artículo original una estrecha relación entre el $\%1\text{RM}$ y la velocidad de la barra ($r^2 > 0,97$; $\text{SEE} < 4,0 \%$ 1RM). Específicamente, en el presente estudio se seleccionó de cada test de carga incremental una carga ligera (asociada a una VM y VMP de aproximadamente $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\approx 46\%$ 1RM) y una carga pesada (asociada a una VM y VMP de aproximadamente $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\approx 77\%$ 1RM). Por lo tanto, a partir de cada test de carga incremental probamos la viabilidad de cuatro condiciones independientes (dos cargas [$\approx 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$] x dos variables [VM y VMP]) para predecir la 1RM del press de banca tradicional usando las ecuaciones propuestas por González-Badillo & Sánchez-Medina (2010). Después de determinar el $\%1\text{RM}$ que representó la carga seleccionada, se aplicó la siguiente operación para estimar la 1RM:

$$1\text{RM} = \frac{\text{Carga (kg)} \times 100}{\%1\text{RM}}$$

- ✓ Método de 2 puntos: las relaciones individualizadas entre la carga (kg) y la velocidad ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), se establecieron a través de la aplicación de un modelo de regresión lineal a partir de los datos obtenidos por una carga desplazada a alta velocidad ($\approx 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y otra desplazada a baja velocidad ($\approx 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) separadamente para la VM y VMP (es

decir, se utilizaron los mismos puntos experimentales que para la aplicación de las ecuaciones generales). Partimos de la hipótesis de que, como se ha demostrado para la relación fuerza-velocidad, los datos proporcionados por solo 2 cargas podrían proporcionar la relación carga-velocidad con una fiabilidad y validez similares que cuando se modelan a partir de múltiples cargas (Jaric, 2016; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic, & Jaric, 2017). La 1RM se estimó a partir del modelo lineal individualizado como la carga (kg) asociada con una velocidad de $0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, teniendo en cuenta que $0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ es la velocidad comúnmente asociada con la 1RM en el ejercicio de press banca (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014). Por lo tanto, a partir de cada prueba de carga incremental se pronosticaron dos valores de 1RM (uno para VM y otro para VMP).

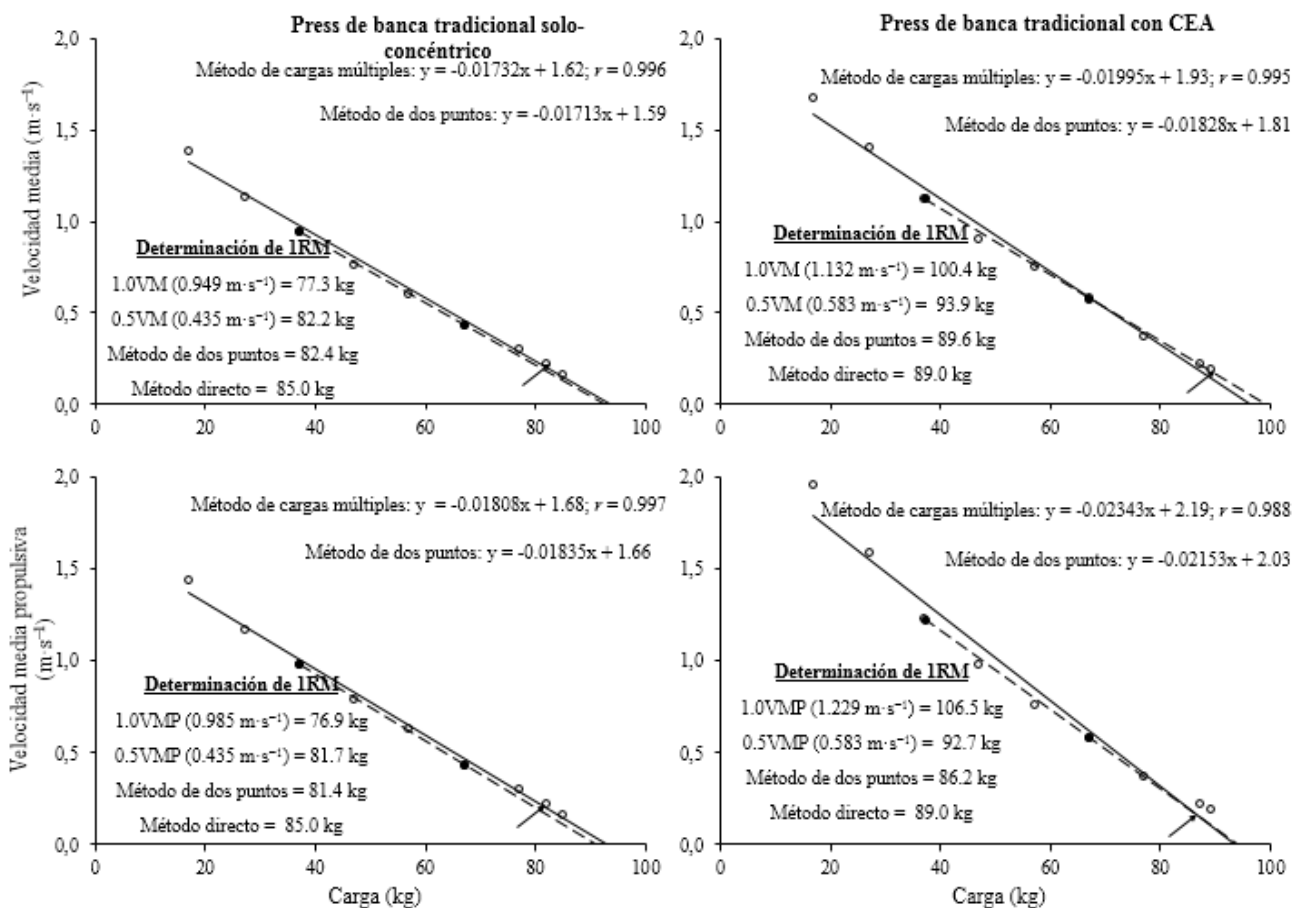


Figura 3. Relaciones carga-velocidad de un sujeto representativo en el press de banca tradicional solo-concéntrico (gráficos de la izquierda) y con CEA (gráficos de la derecha). Las relaciones obtenidas de la VM (gráficos superiores) y de la VMP (gráficos inferiores) considerando todos los puntos (método de puntos múltiples: líneas rectas) y solo las dos cargas con las velocidades cercanas a 1.0 y 0.5 m·s⁻¹ (método de 2 puntos: líneas discontinuas y puntos rellenos) son representadas. Los valores de 1RM obtenidos por los diferentes métodos son mostrados. Las flechas indican los puntos en los cuales la relación

carga-velocidad modelada por el método de 2 puntos alcanza una velocidad de $0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (velocidad de 1RM). BP indica press de banca tradicional; MPV, velocidad media propulsiva; MV, velocidad media; 1RM, 1 repetición máxima; r , coeficiente de correlación de Pearson.

Análisis Estadístico.

Los datos descriptivos se presentan como medias y SD. Se utilizaron pruebas t para muestras pareadas para comparar las cargas absolutas (kg) y relativas (%1RM) y los valores reales con la velocidad alta ($\approx 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y con velocidad baja ($\approx 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) entre el tipo de variables de velocidad (VM vs. VMP) y las modalidades de press de banca (solo-concéntrico vs. CEA). La validez de las 1RMs predichas en comparación con la 1RM real fue evaluada a partir del coeficiente de correlación de Pearson (r), la prueba t para muestras pareadas, el tamaño de efecto de Cohen (ES), y el gráfico de Bland-Altman. La fiabilidad de la 1RM obtenida a partir de los diferentes métodos se evaluó a través de la prueba t para muestras pareadas, el tamaño de efecto (ES), el coeficiente de variación (CV), y el coeficiente de correlación intraclase (CCI). Los criterios para interpretar la magnitud del ES fueron los siguientes: trivial ($<0,2$), pequeño ($0,2-0,59$), moderado ($0,60-1,19$), grande ($1,2-2,0$) y muy grande ($> 2,0$) (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). La fuerza de las correlaciones se determinó usando los siguientes criterios: trivial ($<0,1$), pequeño ($0,1-0,3$), moderado ($0,3-0,5$), alto ($0,5-0,7$), muy alto ($0,7-0,9$), o prácticamente perfecto ($> 0,9$) (Hopkins et al., 2009). Las evaluaciones de fiabilidad se realizaron mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000), mientras que otros análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, USA). La significación estadística se aceptó a un nivel de $P < 0,05$.

4. Resultados.

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los estudios que integran la presente Tesis Doctoral. Los estudios se agrupan en cada una de las tres temáticas que componen la presente Tesis Doctoral:

1. Diferencias en las variables mecánicas entre las distintas modalidades del ejercicio de press banca (Estudio I).
2. Optimización de la evaluación de la relación carga-velocidad en press banca (Estudio II, III y IV).
3. Método de 2 puntos: propuesta para una evaluación rápida y sin fatiga de la repetición máxima en press banca (Estudio V).

4.1 DIFERENCIAS EN LAS VARIABLES MECÁNICAS ENTRE LAS DISTINTAS MODALIDADES DEL EJERCICIO DE PRESS BANCA.

4.1.1 ESTUDIO I: Comparison of mechanical outputs between the traditional and ballistic bench press exercise: influence of the type of variable.

Los efectos principales del ANOVA revelaron que las variables mecánicas generalmente difieren entre los ejercicios de press de banca tradicional y lanzado, así como entre las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA. Por otro lado, las interacciones de los ANOVAS no alcanzaron diferencias significativas (**Tabla 2**). Aunque la magnitud de las diferencias entre los ejercicios de press de banca tradicional y lanzado fueron fuertemente dependientes del tipo de variable considerada, en general, velocidad y potencia de salida tendió a ser mayor para el press de banca lanzado, mientras que la fuerza de salida no difirió entre el ejercicio press de banca tradicional y lanzado, o incluso fue más bajo para el press de banca lanzado.

La técnica de ejecución con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) se asoció con mayores rendimientos mecánicos que la técnica solo-concéntrico en todas las variables excepto los valores máximos de velocidad y potencia. Las únicas dos interacciones significativas del ANOVA fue observado para los valores medios de velocidad y potencia donde mayores

diferencias en favor del press de banca lanzado fueron obtenidas para la técnica de ejecución sólo-concéntrico.

Tabla 2. Comparación de las variables mecánicas obtenidas desde los diferentes ejercicios y técnicas de ejecución.

Variable	PB tradicional sólo-concéntrico	PB lanzado sólo-concéntrico	PB tradicional con CEA	PB lanzado con CEA	ANOVA		
					Solo-concéntrico vs. CEA	PB tradicional vs. PB lanzado	Interacción
Fuerza media (N)	265,4 ± 0,7 ^{a,b}	264,6 ± 0,2 ^{b,c}	266,8 ± 1,3 ^c	265,5 ± 0,6	F = 57,0*, $\eta_p^2 = 0,74$	F = 27,0*, $\eta_p^2 = 0,58$	F = 3,1, $\eta_p^2 = 0,14$
Fuerza media propulsiva (N)	401,3 ± 16,9 ^{a,b,c}	357,9 ± 22,3 ^{b,c}	453,2 ± 29,8 ^c	399,4 ± 18,9	F = 137,9*, $\eta_p^2 = 0,87$	F = 144,5*, $\eta_p^2 = 0,88$	F = 2,6, $\eta_p^2 = 0,12$
Fuerza media acelerativa (N)	424,5 ± 18,6 ^{b,c}	420,7 ± 18,6 ^{b,c}	493,7 ± 29,5	486,7 ± 29,2	F = 287,2*, $\eta_p^2 = 0,94$	F = 4,3, $\eta_p^2 = 0,18$	F = 0,4, $\eta_p^2 = 0,02$
Fuerza máxima (N)	535,8 ± 35,1 ^{b,c}	532,4 ± 28,9 ^{b,c}	1043,6 ± 142,0	1008,9 ± 129,6	F = 402,5*, $\eta_p^2 = 0,95$	F = 1,2, $\eta_p^2 = 0,06$	F = 0,7, $\eta_p^2 = 0,04$
Velocidad media (m·s ⁻¹)	1,07 ± 0,09 ^{a,b,c}	1,13 ± 0,08 ^{b,c}	1,35 ± 0,08	1,37 ± 0,07	F = 421,6*, $\eta_p^2 = 0,96$	F = 13,7*, $\eta_p^2 = 0,41$	F = 4,8*, $\eta_p^2 = 0,19$
Velocidad media propulsiva (m·s ⁻¹)	1,11 ± 0,09 ^{a,b,c}	1,24 ± 0,11 ^{b,c}	1,52 ± 0,09 ^c	1,63 ± 0,11	F = 553,5*, $\eta_p^2 = 0,97$	F = 84,6*, $\eta_p^2 = 0,81$	F = 1,0, $\eta_p^2 = 0,05$
Velocidad media acelerativa (m·s ⁻¹)	1,04 ± 0,09 ^{a,b,c}	1,08 ± 0,09 ^{b,c}	1,46 ± 0,10 ^c	1,52 ± 0,10	F = 634,7*, $\eta_p^2 = 0,97$	F = 20,3*, $\eta_p^2 = 0,50$	F = 0,1, $\eta_p^2 = 0,00$
Velocidad máxima (m·s ⁻¹)	2,07 ± 0,15 ^{a,c}	2,17 ± 0,14 ^b	2,09 ± 0,16 ^c	2,21 ± 0,17	F = 3,1, $\eta_p^2 = 0,13$	F = 59,9*, $\eta_p^2 = 0,75$	F = 0,4, $\eta_p^2 = 0,02$
Potencia media (W)	283,4 ± 22,7 ^{a,b,c}	298,2 ± 21,7 ^{b,c}	359,4 ± 22,4	364,6 ± 19,5	F = 429,5*, $\eta_p^2 = 0,96$	F = 12,9*, $\eta_p^2 = 0,39$	F = 5,3*, $\eta_p^2 = 0,21$
Potencia media propulsiva (W)	425,4 ± 45,9 ^{b,c}	404,7 ± 44,7 ^{b,c}	588,0 ± 64,5 ^c	547,9 ± 43,9	F = 305,4*, $\eta_p^2 = 0,94$	F = 20,5*, $\eta_p^2 = 0,51$	F = 3,3, $\eta_p^2 = 0,14$
Potencia media acelerativa (W)	438,3 ± 48,4 ^{b,c}	455,5 ± 49,8 ^{b,c}	626,6 ± 64,3	647,3 ± 68,7	F = 392,9*, $\eta_p^2 = 0,95$	F = 10,0*, $\eta_p^2 = 0,33$	F = 0,1, $\eta_p^2 = 0,00$
Potencia máxima (W)	773,9 ± 80,1	801,9 ± 86,0	774,3 ± 86,2	809,0 ± 100,3	F = 0,1, $\eta_p^2 = 0,00$	F = 9,1*, $\eta_p^2 = 0,31$	F = 0,1, $\eta_p^2 = 0,01$

Media ± SD; las diferencias significativas ($P < 0,05$; ANOVA con la corrección de Bonferroni) respecto a PB lanzado (a), PB tradicional con CEA (b), y PB lanzado con CEA (c) son indicadas. PB = press de banca; F = F de Snedecor; η^2 = eta cuadrado; * = valor F significativo ($P < 0,05$).

La magnitud del ES entre el press de banca tradicional y el press de banca lanzado (**figura 4**), confirmó los resultados de las pruebas estadísticas que se muestran en la tabla 2. Aunque las variables de fuerza fueron mayores en el press de banca tradicional, las variables de potencia fueron moderadamente mayores en el press de banca lanzado debido a la mayor velocidad. Se tiene que tener en cuenta también que aunque la magnitud de las diferencias dadas para una variable mecánica (p. ej. fuerza) fue fuertemente afectadas por el tipo de variable, diferencias triviales para una misma variable fue observada entre ambas técnicas de ejecución (solo-concéntrico y CEA).

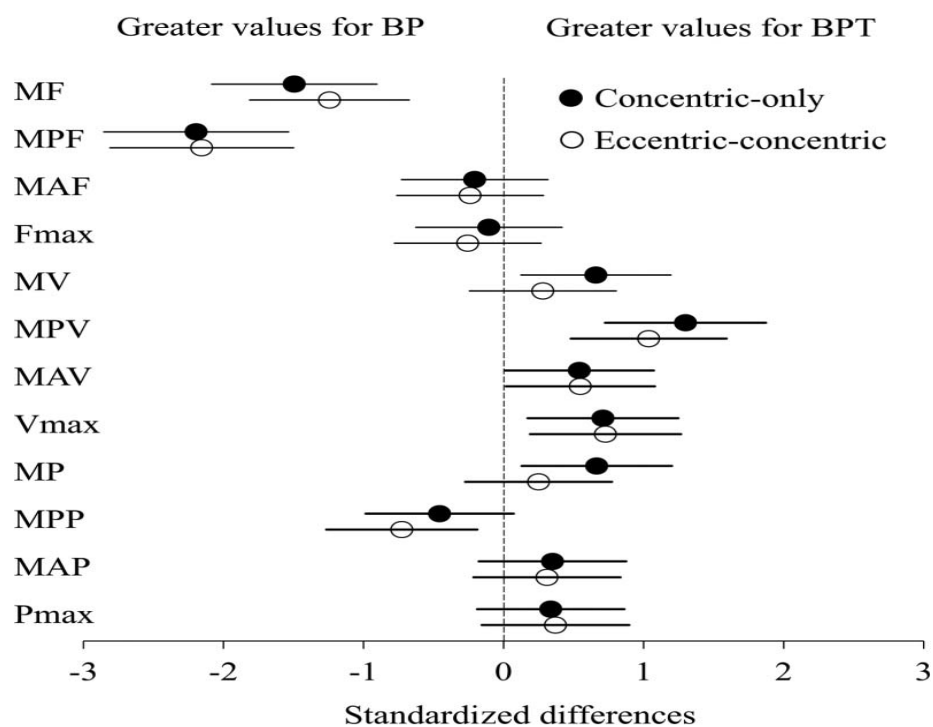


Figura 4. Diferencias estandarizadas (intervalo de confianza del 90%) entre el Press de banca tradicional y Press de banca lanzado obtenidas a través de ambas técnicas de ejecución (solo-concéntrico (círculo relleno) y con CEA (círculo en blanco). BP = press de banca tradicional; BPT = press de banca lanzado; MF = fuerza media; MPF = fuerza media propulsiva; MAF = fuerza media acelerativa; Fmax = fuerza máxima; MV = velocidad media; MPV = velocidad media propulsiva; MAV = velocidad media acelerativa; Vmax = velocidad máxima; MP = potencia media; MPP = potencia propulsiva media; MAP = potencia media acelerativa; Pmax = potencia máxima

La **figura 5** presenta la serie temporal representativa de la producción de fuerza, velocidad y potencia que podrían explicar algunas de las diferencias observadas entre los ejercicios y sus técnicas de ejecución. Durante el press de banca lanzado, hubo una considerable parte de la fase concéntrica en la que los valores de fuerza y potencia son ligeramente superiores a 0 (teniendo en cuenta que la barra debería de haber perdido contacto de las manos en este periodo). La inclusión de un intervalo de tiempo sustancial con las

magnitudes de fuerza y potencia cercana a 0 (casi nula), deberían ser responsables de los valores propulsivos medios de fuerza y potencia más bajos en el press de banca lanzado comparado con el press de banca tradicional. Finalmente, la duración de la fase concéntrica fue mayor para el press de banca lanzado (solo-concéntrico 626 ± 32 ms; con CEA 522 ± 22 ms) que para el press de banca tradicional (solo-concéntrico 494 ± 29 ms; con CEA 397 ± 28 ms). Por lo tanto, aunque el porcentaje de la fase concéntrica en cuanto a fuerza fue mayor para el press de banca tradicional (figura 5), la cantidad total de tiempo en que la fuerza positiva fue mayor fue para el press de banca lanzado.

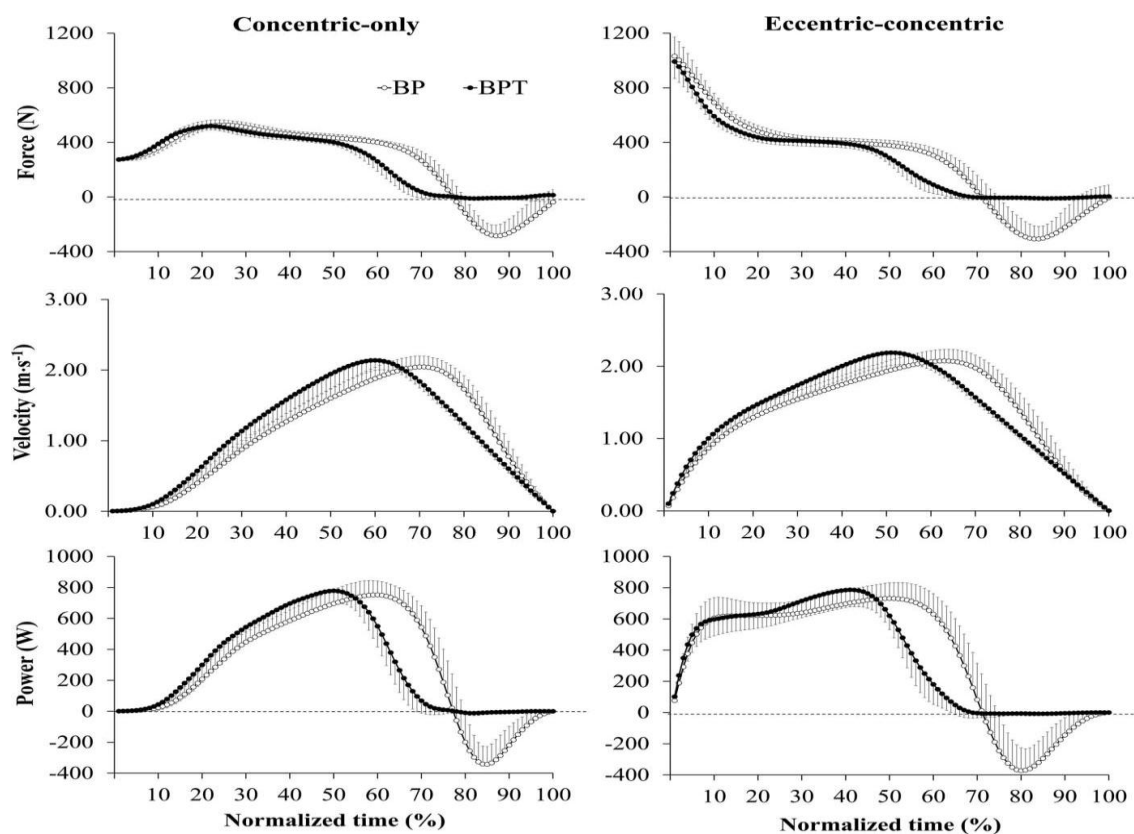


Figura 5. Promedio de los valores de fuerza, velocidad y potencia normalizados por la duración de la fase concéntrica en el ejercicio de press de banca tradicional y lanzado para ambas técnicas de ejecución. El tiempo fue normalizado respecto la duración de la fase concéntrica (es decir desde la primera velocidad positiva hasta que la barra alcanzó la altura máxima).

La **figura 6** representa el análisis de la curva tiempo-potencia obtenida por un sujeto representativo durante la ejecución de ambos ejercicios con la técnica con CEA. El primer hallazgo importante fue que la fase propulsiva del press de banca lanzado fue un 32,4% mayor que del press de banca tradicional (433 ms vs 327 ms). Como consecuencia, el desplazamiento vertical de la barra al final de la fase propulsiva fue también mayor para el press de banca

lanzado (65,7 cm vs 45,8 cm). Curiosamente el desplazamiento total de la barra durante el press de banca tradicional fue de 54,6 cm. Por lo tanto, es evidente que la media de los valores propulsivos obtenido en este estudio para el press de banca lanzado incluye una parte significativa del tiempo de vuelo de la barra. Tenga en cuenta que en el ejemplo presentado en la figura 6 hubo una diferencia de 11,1 cm (65,7 cm – 54,6 cm), que podría ser atribuible a la inclusión de una parte de la fase de vuelo durante el press de banca lanzado.

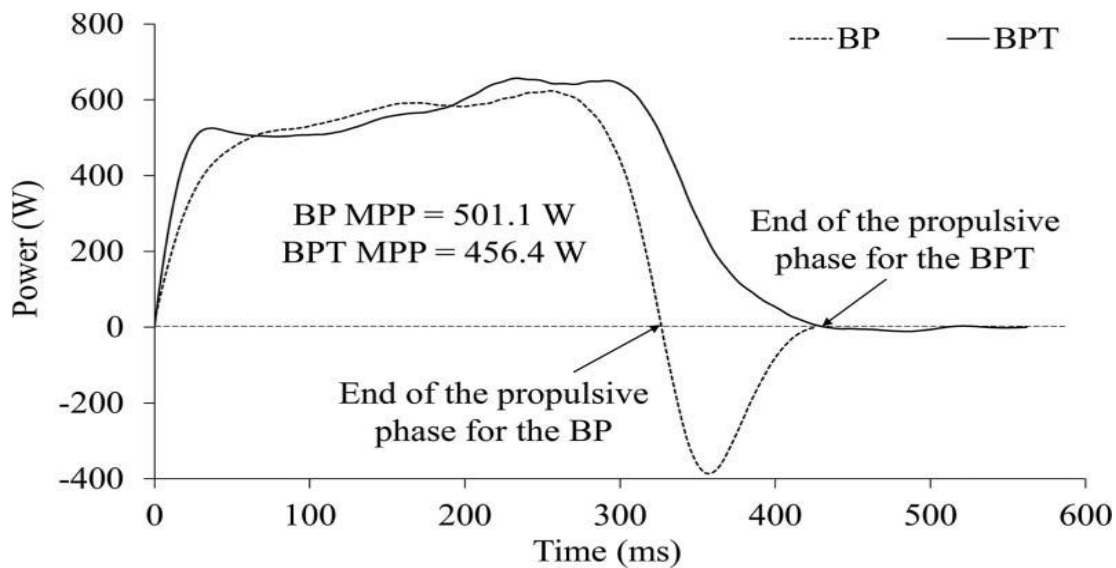


Figura 6. Curvas de tiempo-potencia obtenida de un sujeto representativo durante el ejercicio de Press de banca tradicional y de Press de banca lanzado con la técnica de ejecución CEA. Donde la MPP significa la potencia media propulsiva; BP significa Press de banca tradicional y BPT, Press de banca lanzado. Tenga en cuenta que el final de la fase propulsora del Press de banca lanzado corresponde al inicio de la fase de vuelo de la barra, lo que es responsable de la MPP inferior observada en Press de banca lanzado respecto al Press de banca tradicional.

4.2 OPTIMIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN CARGA-VELOCIDAD EN PRESS BANCA.

4.2.1 ESTUDIO II: Differences in the load-velocity profile between four bench press variants.

Se observaron relaciones fuertemente lineales entre la VM y la carga relativa en las 4 modalidades de press de banca ($r^2 > 0,96$, **Figura 7**). Por lo tanto, las siguientes ecuaciones generales de regresión podrían ser propuestas para estimar el %1RM a partir de la VM:

- **%1RM en el Press de banca tradicional solo-concéntrico** = $-69,62 \times VM + 110,3$ ($r^2 = 0,966$, SEE = 4,95%RM)
- **%1RM en el Press de banca lanzado solo-concéntrico** = $-65,00 \times VM + 108,6$ ($r^2 = 0,969$, SEE = 4,71%RM)
- **%1RM en el Press de banca tradicional con CEA** = $-55,92 \times VM + 108,8$ ($r^2 = 0,974$, SEE = 4,38%RM)
- **%1RM en el Press de banca lanzado con CEA** = $-55,9 \times VM + 109,6$ ($r^2 = 0,979$, SEE = 3,96%RM).

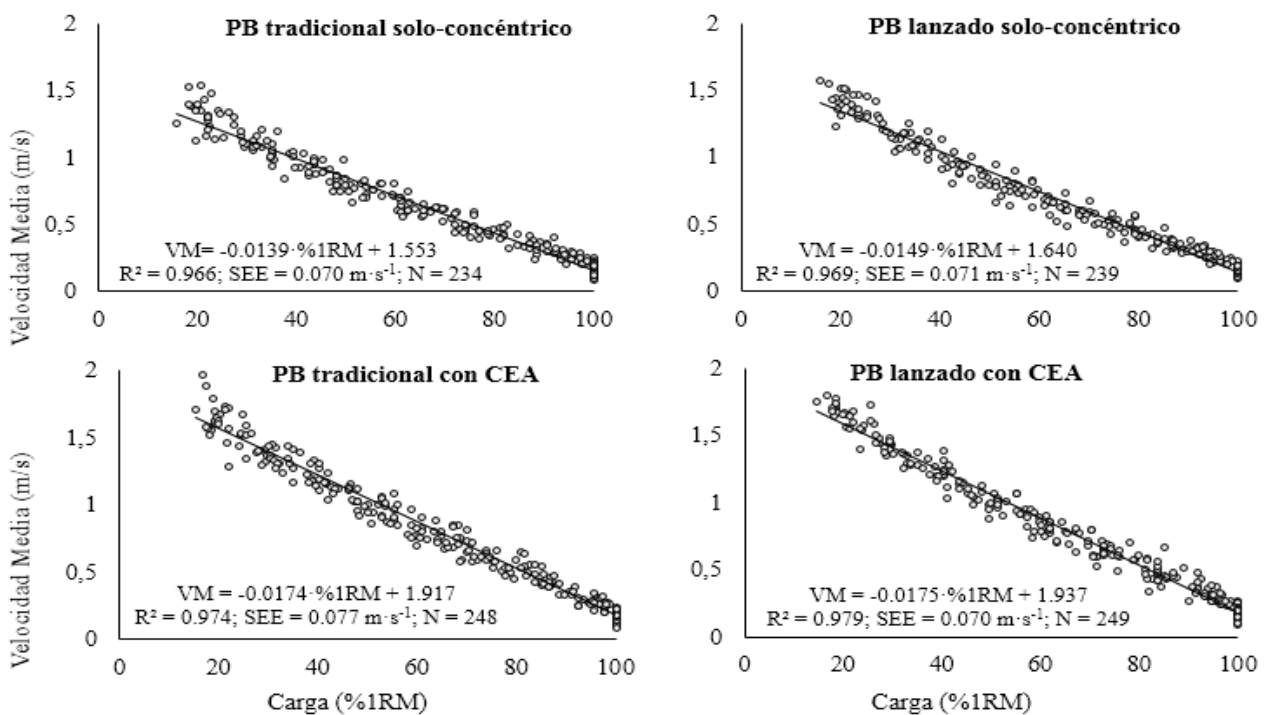


Figura 7. Relación entre la carga relativa (%1RM) y la velocidad media (VM) en el press de banca tradicional solo-concéntrico (panel superior izquierdo), en el press de banca lanzado solo-concéntrico (panel superior derecho), en el press de banca tradicional con CEA (panel inferior izquierdo), y en el press de banca lanzado con CEA (panel inferior derecho). PB

indica Press de Banca; 1RM indica la repetición máxima; R^2 el coeficiente de determinación de Pearson; SEE, error estándar de la estimación; N = número de ensayos incluidos en el análisis de regresión.

El ANOVA de un factor demostró que los valores de la VM fueron significativamente diferentes entre las modalidades de press de banca para todas las cargas relativas (**Tabla 3**). Las comparaciones post-hoc de Bonferroni revelaron que la VM asociada a cada % 1RM fue siempre significativamente mayor cuando se ejecutaba con CEA que cuando se usaba la técnica de solo-concéntrico. No se encontraron diferencias significativas en los valores de VM entre el press de banca tradicional con CEA respecto al press de banca lanzado con la misma técnica de ejecución en ningún % 1RM. Sin embargo, la VM fue mayor en el press de banca lanzado solo-concéntrico respecto al press de banca tradicional con la misma técnica de ejecución desde el 20% 1RM hasta el 70% 1RM, pero no se observaron diferencias significativas cuando la carga fue superior.

Tabla 3. Comparación de la velocidad media ($m \cdot s^{-1}$) obtenida con cada carga relativa (% 1RM) entre las cuatro modalidades del ejercicio de press de banca.

Carga (%1RM)	ANOVA	Press de banca tradicional solo-concéntrico	Press de banca lanzado solo-concéntrico	Press de banca tradicional con CEA	Press de banca lanzado con CEA
20	$F = 143,6, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$1,28 \pm 0,09^{b,c,d}$	$1,34 \pm 0,08^{a,c,d}$	$1,57 \pm 0,09^{a,b}$	$1,59 \pm 0,06^{a,b}$
25	$F = 144,1, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$1,21 \pm 0,09^{b,c,d}$	$1,27 \pm 0,07^{a,c,d}$	$1,49 \pm 0,09^{a,b}$	$1,51 \pm 0,06^{a,b}$
30	$F = 144,6, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$1,14 \pm 0,08^{b,c,d}$	$1,20 \pm 0,07^{a,c,d}$	$1,40 \pm 0,08^{a,b}$	$1,42 \pm 0,06^{a,b}$
35	$F = 144,9, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$1,07 \pm 0,08^{b,c,d}$	$1,12 \pm 0,07^{a,c,d}$	$1,31 \pm 0,08^{a,b}$	$1,33 \pm 0,06^{a,b}$
40	$F = 145,0, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$1,00 \pm 0,07^{b,c,d}$	$1,05 \pm 0,06^{a,c,d}$	$1,22 \pm 0,07^{a,b}$	$1,24 \pm 0,06^{a,b}$
45	$F = 144,6, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$0,93 \pm 0,06^{b,c,d}$	$0,97 \pm 0,06^{a,c,d}$	$1,14 \pm 0,07^{a,b}$	$1,15 \pm 0,05^{a,b}$
50	$F = 143,5, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$0,86 \pm 0,06^{b,c,d}$	$0,90 \pm 0,05^{a,c,d}$	$1,05 \pm 0,06^{a,b}$	$1,07 \pm 0,05^{a,b}$
55	$F = 141,3, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,94$	$0,79 \pm 0,05^{b,c,d}$	$0,82 \pm 0,05^{a,c,d}$	$0,96 \pm 0,06^{a,b}$	$0,98 \pm 0,05^{a,b}$
60	$F = 137,4, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,93$	$0,72 \pm 0,05^{b,c,d}$	$0,75 \pm 0,05^{a,c,d}$	$0,87 \pm 0,05^{a,b}$	$0,89 \pm 0,05^{a,b}$
65	$F = 130,8, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,93$	$0,65 \pm 0,05^{b,c,d}$	$0,67 \pm 0,04^{a,c,d}$	$0,79 \pm 0,05^{a,b}$	$0,80 \pm 0,05^{a,b}$
70	$F = 120,2, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,93$	$0,58 \pm 0,04^{b,c,d}$	$0,60 \pm 0,04^{a,c,d}$	$0,70 \pm 0,05^{a,b}$	$0,71 \pm 0,05^{a,b}$
75	$F = 104,7, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,92$	$0,51 \pm 0,04^{c,d}$	$0,52 \pm 0,04^{c,d}$	$0,61 \pm 0,04^{a,b}$	$0,63 \pm 0,05^{a,b}$

80	$F = 84,4, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,90$	$0,44 \pm 0,04^{c,d}$	$0,45 \pm 0,04^{c,d}$	$0,52 \pm 0,04^{a,b}$	$0,54 \pm 0,04^{a,b}$
85	$F = 61,3, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,86$	$0,37 \pm 0,03^{c,d}$	$0,37 \pm 0,04^{c,d}$	$0,44 \pm 0,04^{a,b}$	$0,45 \pm 0,04^{a,b}$
90	$F = 39,0, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,80$	$0,30 \pm 0,03^{c,d}$	$0,30 \pm 0,03^{c,d}$	$0,35 \pm 0,04^{a,b}$	$0,36 \pm 0,04^{a,b}$
95	$F = 20,7, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,68$	$0,23 \pm 0,03^{c,d}$	$0,22 \pm 0,03^{c,d}$	$0,26 \pm 0,04^{a,b}$	$0,28 \pm 0,04^{a,b}$
100	$F = 8,65, P < 0,001, \eta_p^2 = 0,47$	$0,16 \pm 0,04^d$	$0,15 \pm 0,03^{c,d}$	$0,18 \pm 0,04^b$	$0,19 \pm 0,05^{a,b}$

La significancia fue aceptada cuando $P < 0,05$. ^a, diferencia significativa con respecto al press de banca solo-concéntrico.; ^b, diferencia significativa con respecto al press de banca lanzado solo-concéntrico; ^c, diferencia significativa con respecto al press de banca tradicional con CEA; ^d, diferencia significativa con respecto al press de banca tradicional con CEA.

La fuerza máxima (1RM) en el press de banca con CEA ($1RM = 81,4 \pm 13,8$ kg) fue significativamente mayor ($P < 0,001$, $ES = 0,36$ [intervalo de confianza del 95% $-0,15, 0,87$], $\% = 6,2\%$) que el press de banca solo-concéntrico ($1RM = 76,7 \pm 12,7$ kg). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($P < 0,232$, $ES = 0,33$ [intervalo de confianza del 95% $-0,18, 0,84$], $\% = 5,6\%$) en la V1RM entre el press de banca solo-concéntrico ($0,168 \pm 0,026$ $m \cdot s^{-1}$) y el press de banca con CEA ($0,178 \pm 0,030$ $m \cdot s^{-1}$). La 1RM estuvo fuertemente asociada entre las técnicas de ejecución del press de banca ($r = 0,98$, $P < 0,001$), mientras que las V1RM entre las técnicas de ejecución no estaba relacionada ($r = -0,11$, $P < 0,554$)

La velocidad media de la prueba se correlacionó de manera significativa y positiva entre las 4 modalidades de press de banca (**Tabla 4**). La velocidad media del test en la modalidad de press de banca tradicional solo-concéntrico no se correlacionó significativamente con la 1RM ($r = -0,260$, $P = 0,165$) ni con la V1RM ($r = 0,116$, $P = 0,543$). La velocidad media del test del press de banca lanzado solo-concéntrico no se correlacionó significativamente con la 1RM ($r = -0,297$, $P = 0,111$) ni con la V1RM ($r = 0,234$, $P = 0,213$). La velocidad media del test de press de banca tradicional con CEA fue correlacionada significativamente con la 1RM ($r = -0,416$, $P = 0,007$), pero no con la V1RM ($r = 0,010$, $P = 0,958$). Finalmente, la velocidad media del test del press de banca lanzado con CEA, correlacionó significativamente con la 1RM ($r = -0,462$, $P = 0,010$) y con la V1RM ($r = 0,432$, $P = 0,017$).

Tabla 4. Correlaciones entre la velocidad media medida en las cuatro modalidades de press de banca.

	PB solo-concéntrico	PBL solo-concéntrico	PB con CEA
PBL solo-concéntrico	0,757**		
PB con CEA	0,627**	0,437*	
PBL con CEA	0,729**	0,683**	0,632**

Abreviaciones: PB, press de banca tradicional; PBL, press de banca lanzado * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$.

4.2.2 ESTUDIO III: Reliability of the load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1-repetition maximum load.

Después de medir la VM frente a la carga relativa (%1RM), se observó una relación lineal muy estrecha entre ambas modalidades de press de banca tradicional (solo-concéntrico y con CEA) (**Figura 8**). Debe tenerse en cuenta que el valor estadístico F fue siempre más alto en el modelo de regresión lineal ($F = 6687,9 - 9596,3$) que en el de regresión polinomial ($F = 4098,5 - 5410,3$). Las relaciones de carga-velocidad individuales también resultaron ser muy fuertes y bastante lineales en el press de banca tradicional solo-concéntrico ($r^2 = 0,988 [0,970, 0,998]$ para la regresión lineal y $0,995 [0,984, 0,999]$ para la regresión polinomial), y para el press de banca tradicional con CEA ($r^2 = 0,990 [0,964, 0,998]$ para la regresión lineal, y $0,995 [0,985, 1,000]$ para la regresión polinomial).

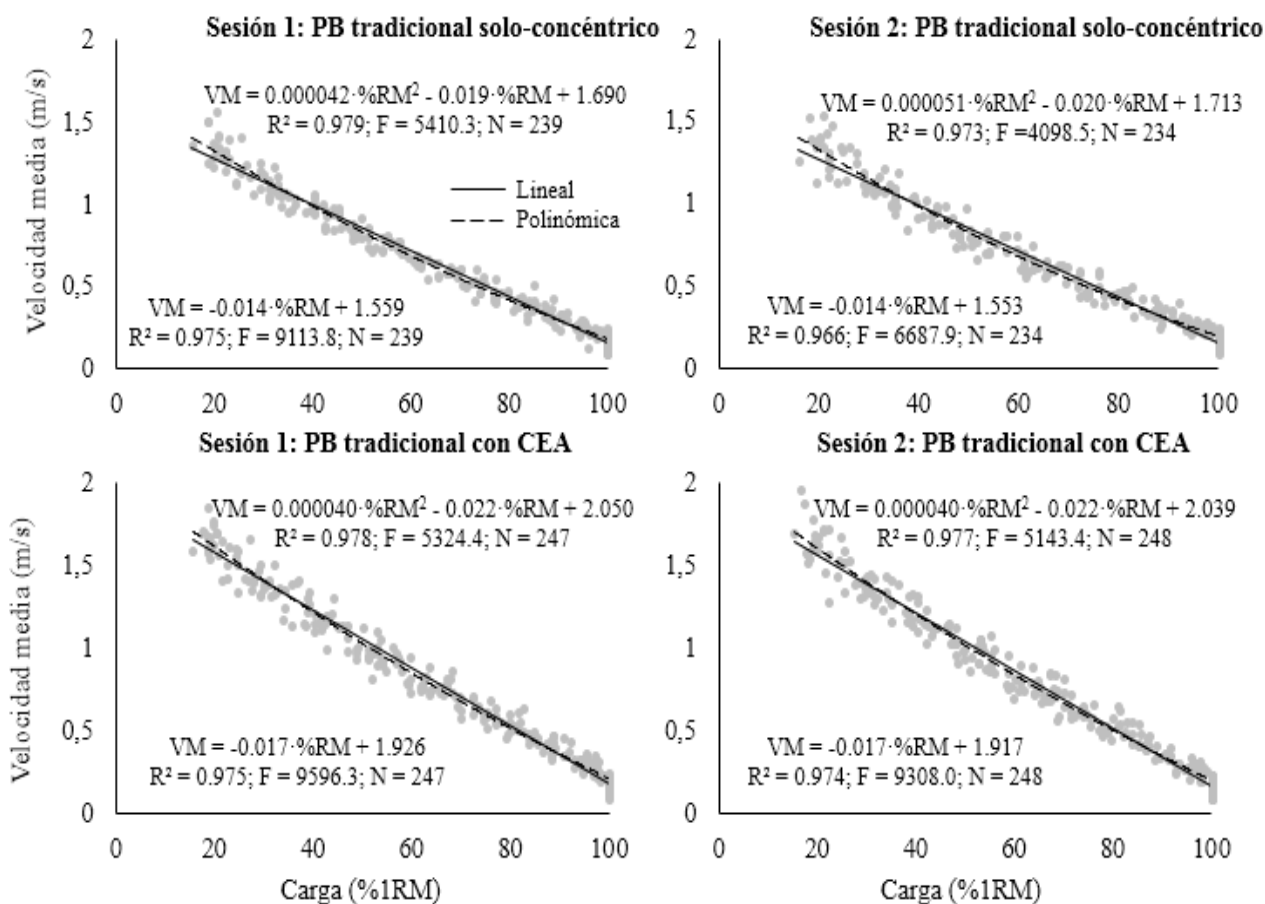


Figura 8. Relación entre la carga relativa (%1RM) y la VM en el press de banca tradicional solo-concéntrico (paneles superiores) y el press de banca tradicional con CEA (paneles inferiores) observada en la primera (paneles de la izquierda) y la segunda (paneles de la derecha) sesión de evaluación. La regresión lineal (línea continua) y polinomial (línea discontinua) son

representadas. PB indica press de banca; R^2 , coeficiente de determinación de Pearson; F , estadístico F ; N , número de pruebas incluidas en el análisis de regresión; VM, velocidad media; 1RM, repetición máxima.

Se observó una fiabilidad muy alta para la relación carga-velocidad individual en el press de banca tradicional solo-cóncentrico (CV: regresión lineal = $4,39 \pm 2,91\%$ 1RM, regresión polinomial = $4,68 \pm 2,47\%$ 1RM) y en el press de banca tradicional con CEA (CV: Regresión lineal = $4,70 \pm 3,44\%$ 1RM, regresión polinomial = $5,04 \pm 2,82\%$ 1RM). El ANOVA de dos factores realizados sobre los CV en cada carga relativa revelaron efectos significativos para el "modelo de regresión" en varias cargas relativas (20% 1RM, 25% 1RM, 30% 1RM, 40% 1RM, 65% 1RM, 70% 1RM, 75%, 80% 1RM y 85% 1RM) (**Tabla 5**). El test post-hoc de Bonferroni, reveló que la fiabilidad era mayor en el modelo de regresión polinomial al 40% 1RM, sin embargo, el modelo de regresión lineal proporcionó una mayor fiabilidad en el resto de cargas relativas. El efecto principal del "tipo de press de banca" y la interacción (modalidad de press de banca x modelo de regresión) no alcanzó significación estadística en ningún % 1RM.

Tabla 5. ANOVAs de medidas repetidas realizado con los coeficientes de variación individuales en cada carga relativa (% 1RM).

Carga (% 1RM)	Modalidad de Press de Banca tradicional			Modelo de regresión			Interacción		
	F	P	η^2	F	P	η^2	F	P	η^2
20	0,01	0,92	<0,01	16,1	<0,001*	0,36	1,03	0,32	0,03
25	0,04	0,84	<0,01	13,1	0,001*	0,31	0,95	0,34	0,03
30	0,11	0,75	<0,01	8,00	0,01*	0,22	0,52	0,48	0,02
35	0,14	0,71	0,01	0,53	0,47	0,02	0,00	0,95	<0,01
40	0,06	0,81	<0,01	7,44	0,01*	0,20	0,01	0,93	<0,01
45	0,02	0,90	<0,01	1,59	0,22	0,05	0,08	0,77	<0,01
50	0,02	0,90	<0,01	0,02	0,90	0,00	0,02	0,90	<0,01
55	0,23	0,63	0,01	1,04	0,32	0,04	0,01	0,92	<0,01
60	0,50	0,49	0,02	3,28	0,08	0,10	0,00	0,99	<0,01
65	0,82	0,37	0,03	5,46	0,03*	0,16	0,02	0,88	<0,01
70	0,95	0,34	0,03	6,92	0,01*	0,19	0,08	0,78	<0,01
75	0,92	0,35	0,03	7,37	0,01*	0,20	0,11	0,74	<0,01
80	0,75	0,39	0,03	7,69	0,01*	0,21	0,09	0,76	<0,01
85	0,49	0,49	0,02	12,2	0,002*	0,30	0,05	0,82	<0,01
90	0,25	0,62	0,01	3,66	0,07	0,11	0,03	0,86	<0,01
95	0,08	0,78	<0,01	0,26	0,61	0,01	0,08	0,77	<0,01
100	0,05	0,82	<0,01	0,90	0,35	0,03	0,10	0,76	<0,01

Abreviaciones: ANOVAs, análisis de varianzas; CV, coeficiente de variación; F , distribución F de Snedecor; η^2 , eta cuadrado. *Diferencias significativas.

El ratio entre 2 CV fue usado para determinar diferencias importante en fiabilidad (ratio del CV >1,15) entre las 4 condiciones evaluadas (2 modalidades de press de banca tradicional x 2 modelos de regresiones) (**Tabla 6**). De acuerdo con este criterio, la fiabilidad de las condiciones podría ser clasificada desde la más alta hasta la más baja como: press de banca tradicional solo-concéntrico modelado por regresión lineal (17 resultados positivos, 0 resultados negativos) > press de banca tradicional con CEA modelado por regresión lineal (13 resultados positivos, 6 resultados negativos) > press de banca tradicional solo-concéntrico modelado por regresión polinomial (5 resultados positivos, 11 resultados negativos) > press de banca tradicional con CEA modelado con regresión polinomial (1 resultado positivo, 19 negativos).

Tabla 6. Comparación del CV intra-sujetos en cada carga relativa (%1RM) entre las modalidades de press de banca tradicional y los modelos de regresión.

Carga (%1RM)	PB solo-concéntrico		PB con CEA	
	Lineal	Polinomial	Lineal	Polinomial
20	3,21% ^{b,d}	3,97%	2,85% ^{b,d}	4,05%
25	3,16%	3,59%	2,84% ^{b,d}	3,55%
30	3,10%	3,27%	2,83% ^b	3,13%
35	3,05%	3,04%	2,82%	2,83%
40	3,00%	2,92%	2,83%	2,70%
45	2,95%	2,92%	2,85%	2,75%
50	2,91%	3,02%	2,89%	2,97%
55	2,89%	3,22%	2,97%	3,32%
60	2,91% ^{b,d}	3,49%	3,08% ^d	3,75%
65	2,98% ^{b,d}	3,80%	3,27% ^{b,d}	4,24%
70	3,14% ^{b,d}	4,14%	3,55% ^{b,d}	4,75%
75	3,45% ^{b,c,d}	4,50% ^d	3,98% ^d	5,28%
80	3,98% ^{b,c,d}	4,92% ^d	4,63% ^d	5,84%
85	4,87% ^{c,d}	5,50% ^d	5,63% ^d	6,51%
90	6,34% ^d	6,50%	7,23%	7,46%
95	8,89%	8,45% ^c	10,02%	9,26%
100	13,86%	12,37% ^c	15,67%	13,30% ^c
TOTAL	4,39 ± 2,91	4,68 ± 2,47	4,70 ± 3,44	5,04 ± 2,82

Abreviaciones: PB, Press de Banca tradicional; CV, coeficiente de variación; TOTAL, media promedio ± desviación estándar (SD) obtenida de la relación total carga-velocidad. ^a, significativamente más fiable que el Press de Banca solo-concéntrico modelado por regresión lineal; ^b, significativamente más fiable que el Press de Banca solo-concéntrico modelado por regresión polinomial; ^c, significativamente más fiable que el Press de Banca con CEA modelado por regresión lineal; ^d, significativamente más fiable que el Press de Banca con CEA modelado por regresión polinomial. La significancia se definió cuando el ratio del CV fue superior a 1,15.

Los coeficientes de correlación intraclase (CCI) para la VM alcanzada en las diferentes cargas relativas fueron significativos en casi todos los casos (**Tabla 7**). La única excepción fue

la VM alcanzada al 95%1RM y al 100%1RM en el press de banca tradicional con CEA modelado por una regresión polinomial. La moderada magnitud de los CCI (valores del CCI desde 0,73 hasta 0,78) implica que la relación carga-velocidad puede ser dependiente de los participantes (es decir, los participantes que obtuvieron un mayor valor de VM a un determinado % 1RM en la primera sesión, también tienden a tener valores de VM más altos en ese mismo % 1RM en la segunda sesión). Debe de observarse que el incremento de la carga relativa fue asociado a una disminución de los valores del CCI. Similares tendencias en los valores de los CCI fueron observadas para ambas modalidades de press banca tradicional evaluada (solo-concéntrico y con CEA).

Tabla 7. Coeficientes de correlación intraclase obtenido para cada carga relativa por cada modalidad de press banca evaluada y por cada modelo de regresión usado.

Carga (% 1RM)	Press de banca tradicional solo-concéntrico		PB tradicional con CEA	
	Lineal	Polinomial	Lineal	Polinomial
20	0,78 (0,59, 0,89)	0,69 (0,45, 0,84)	0,76 (0,56, 0,88)	0,64 (0,37, 0,81)
25	0,78 (0,60, 0,89)	0,73 (0,50, 0,86)	0,76 (0,56, 0,88)	0,68 (0,42, 0,83)
30	0,79 (0,60, 0,89)	0,76 (0,55, 0,88)	0,76 (0,56, 0,88)	0,72 (0,49, 0,86)
35	0,79 (0,60, 0,89)	0,78 (0,59, 0,89)	0,76 (0,56, 0,88)	0,77 (0,57, 0,88)
40	0,79 (0,60, 0,89)	0,80 (0,63, 0,90)	0,76 (0,56, 0,88)	0,80 (0,62, 0,90)
45	0,79 (0,60, 0,89)	0,81 (0,65, 0,91)	0,76 (0,55, 0,88)	0,82 (0,65, 0,91)
50	0,79 (0,60, 0,89)	0,81 (0,65, 0,91)	0,75 (0,54, 0,87)	0,82 (0,66, 0,91)
55	0,78 (0,59, 0,89)	0,81 (0,64, 0,90)	0,74 (0,53, 0,87)	0,81 (0,64, 0,91)
60	0,78 (0,58, 0,89)	0,80 (0,62, 0,90)	0,73 (0,51, 0,86)	0,80 (0,62, 0,90)
65	0,77 (0,57, 0,88)	0,78 (0,59, 0,89)	0,71 (0,48, 0,85)	0,78 (0,59, 0,89)
70	0,75 (0,54, 0,87)	0,76 (0,56, 0,88)	0,69 (0,45, 0,84)	0,76 (0,55, 0,88)
75	0,73 (0,50, 0,86)	0,74 (0,52, 0,87)	0,66 (0,40, 0,82)	0,73 (0,50, 0,86)
80	0,70 (0,46, 0,84)	0,71 (0,47, 0,85)	0,63 (0,36, 0,81)	0,68 (0,44, 0,84)
85	0,67 (0,41, 0,83)	0,66 (0,40, 0,82)	0,60 (0,31, 0,79)	0,61 (0,32, 0,79)
90	0,65 (0,38, 0,82)	0,59 (0,30, 0,78)	0,57 (0,27, 0,77)	0,45 (0,11, 0,69)
95	0,64 (0,36, 0,81)	0,51 (0,19, 0,73)	0,55 (0,25, 0,76)	0,14(-0,23, 0,47)
100	0,64 (0,36, 0,81)	0,47 (0,14, 0,71)	0,54 (0,24, 0,75)	-0,05(-0,40, 0,31)
TOTAL	0,78 (0,64, 0,79)	0,76 (0,47, 0,81)	0,73 (0,54, 0,76)	0,73 (-0,05, 0,82)

TOTAL: mediana (rango) obtenido de la relación total carga-velocidad. El 95% de confianza del CCI es presentado para cada carga relativa.

La variabilidad intra-sujeto fue notablemente inferior que el la variabilidad entre-sujetos para cada %1RM (**Figura 9**). Específicamente, los ratios de CV fueron siempre superiores que el umbral mínimo importante de 1,15, con la única excepción del ratio del CV observado al 95% 1RM y 100% 1RM en la modalidad de press de banca tradicional con CEA modelado por una regresión polinomial.

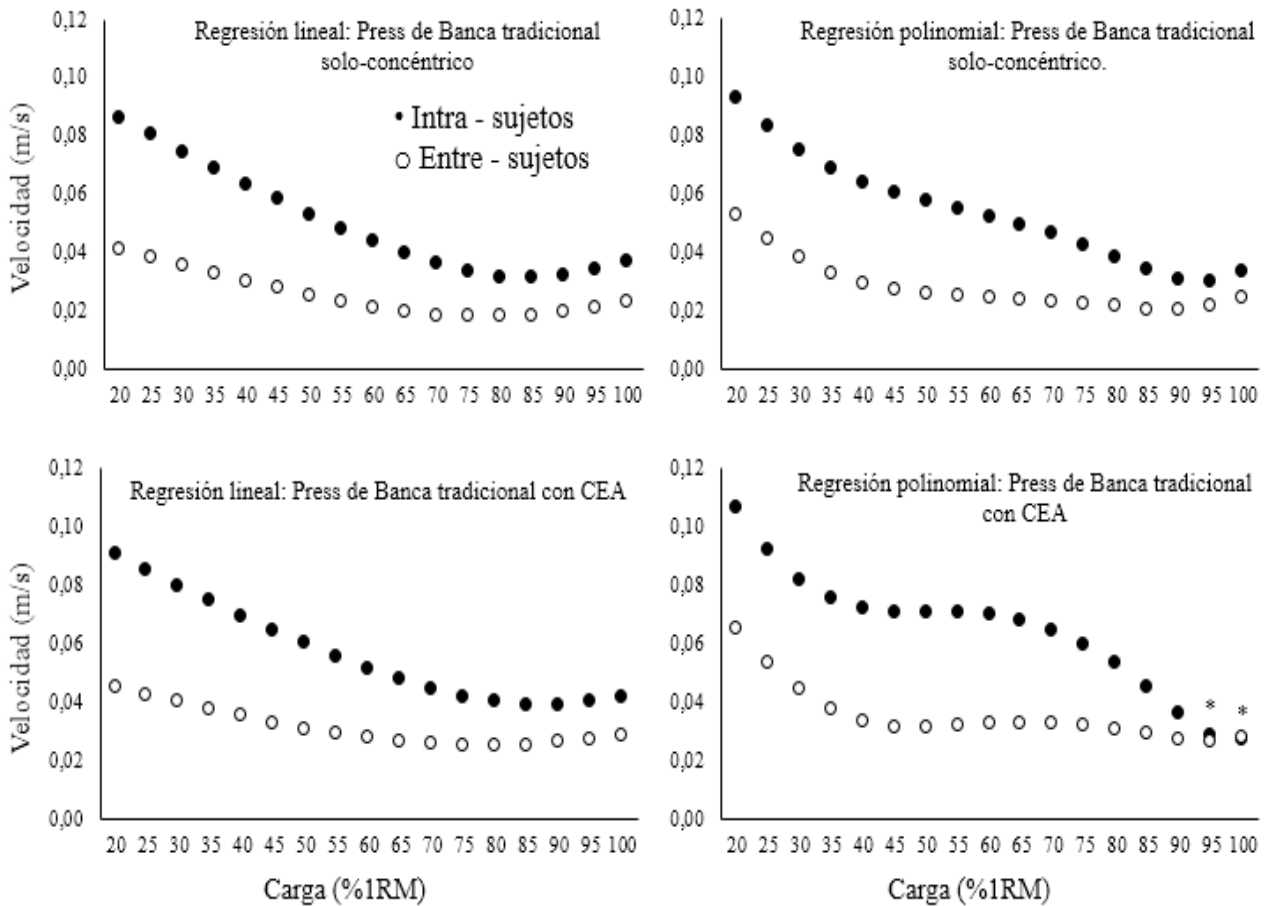


Figura 9. Desviación estándar (SD) intra-sujetos (círculo blanco), y entre-sujetos (círculo negro) de las velocidades medias obtenidas en cada carga relativa (%1RM) en el press de banca tradicional solo-concéntrico (paneles superiores) y con CEA (paneles inferiores) obtenidos a partir de modelos de regresión lineal (paneles de la izquierda) polinomial (paneles de la derecha). * indica que el ratio del coeficiente de variación (CV) intra-sujetos y entre-sujetos fue mayor a 1,15.

4.2.3 ESTUDIO IV: mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: Which variable determines bench press relative load with higher reliability?

Independientemente de la variable analizada las relaciones individuales carga-velocidad demostraron ser muy fuerte para el press de banca lanzado solo-concéntrico (mediana [rango]: $r^2 = 0,989$ [0,957, 0,999] para VM, 0,983 [0,942, 0,998] para VMP, y 0,974 [0,954, 0,997] para Vmax) y para el press de banca lanzado con CEA (mediana [rango]: $r^2 = 0,993$ [0,969, 0,999] para VM, 0,980 [0,947, 0,998] para VMP y 0,969 [0,941, 0,996] para Vmax). En cuanto a la comparación de la bondad del ajuste de las relaciones carga-velocidad, el test ANOVA de dos factores realizado a través de la transformación individual de los coeficientes de correlación (r) de Fisher Z, reveló un efecto significativo para el tipo de variable ($F = 160,8$, $P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,732$). Por el contrario, el efecto de la modalidad de press de banca lanzado ejecutada no alcanzó diferencias estadísticas significativas ($F = 0,1$, $P = 0,784$, $\eta_p^2 = 0,001$). La interacción entre el tipo de variable y la técnica de ejecución fue también significativa ($F = 34,3$, $P < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,367$). Las comparaciones post-hoc de Bonferroni revelaron que la bondad del ajuste de la relación carga-velocidad individual fue mayor para la VM, seguida por la VMP, y finalmente la Vmax (**Figura 10**).

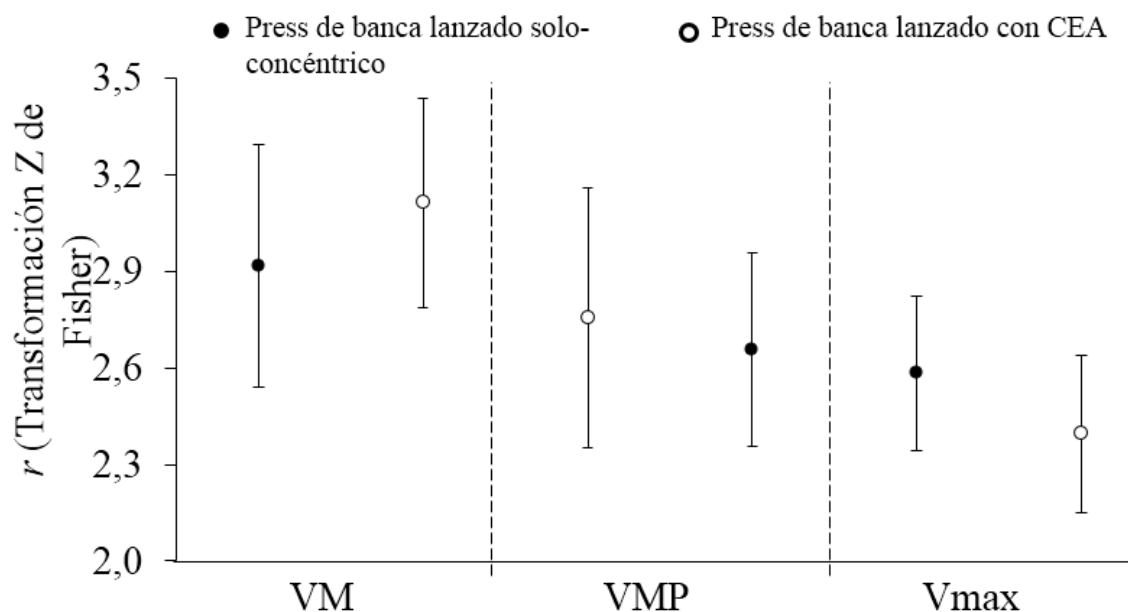


Figura 10. Coeficiente de correlación de Pearson con la Transformación Z de Fisher (medias y barras de error de la SD) obtenidas a partir de las relaciones carga-velocidad en las distintas variables estudiadas. SD = Desviación estándar.

Después de establecer la relación entre las variables de velocidad (VM, VMP y Vmax) y la carga relativa (%1RM), una relación lineal muy estrecha fue observada para el press de banca lanzado solo-concéntrico y con CEA (**Figura 11**). Las siguientes ecuaciones generales de carga-velocidad podrían ser propuestas para estimar la carga relativa en el ejercicio de press de banca lanzado solo-concéntrico a través de: la VM (%1RM = $-64,78 \times VM + 108,6$, $r^2 = 0,969$, SEE = 4,76%1RM), la VMP (%1RM = $-57,02 \times VMP + 105,8$, $r^2 = 0,957$, SEE = 5,56%1RM) y la Vmax (%1RM = $-34,90 \times Vmax + 111,8$, $r^2 = 0,960$, SEE = 5,36%1RM). Las siguientes ecuaciones generales de carga-velocidad fueron obtenidas para el press de banca lanzado con CEA para la VM (%1RM = $-56,09 \times VM + 109,5$, $r^2 = 0,981$, SEE = 3,80%1RM), para la VMP (%1RM = $-44,57 \times VMP + 104,6$, $r^2 = 0,967$, SEE = 4,91%1RM) y del Vmax (%1RM = $-34,77 \times Vmax + 109,9$, $r^2 = 0,955$, SEE = 5,77%1RM).

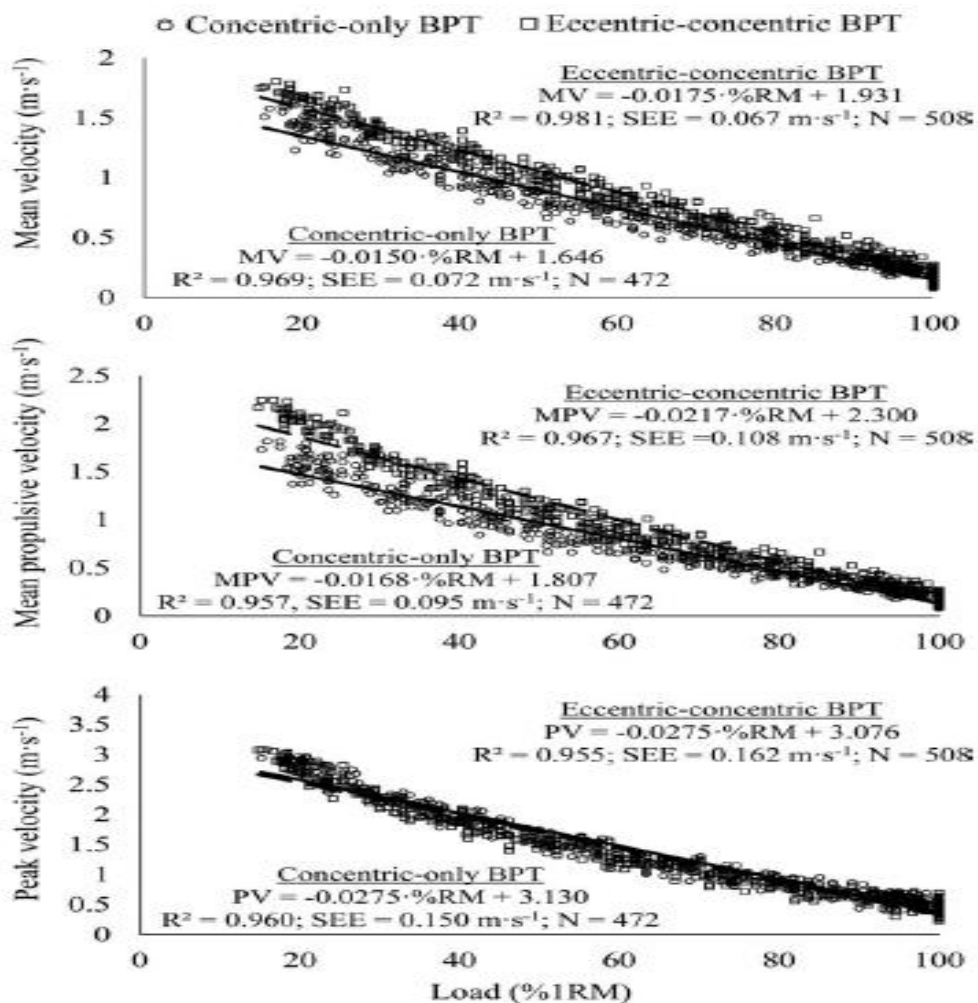


Figura 11. Relación entre la carga relativa (%1RM) y la velocidad media (VM; panel superior), velocidad media propulsiva (VMP; panel del medio), velocidad máxima (Vmax; panel inferior) en el press de banca lanzado solo-concéntrico (círculos blancos y líneas continuas), y con CEA (círculos negros y líneas discontinuas). Abreviaciones: BPT= press de banca lanzado; r^2 = coeficiente de determinación de Pearson; SEE = error estándar de la estimación; N = número de datos incluidas en el análisis de regresión.

Los valores de velocidad asociados a cada %1RM en ambas modalidades de press de banca lanzado son representados en la **Tabla 8**. El ratio entre los dos CV se utilizó para determinar la mínima diferencia importante en fiabilidad (evaluada con ratio del CV > 1,15) entre las tres variables de velocidad para la técnica de ejecución solo-concéntrico (**Tabla 9**) y con CEA (**Tabla 10**). Independientemente del ejercicio considerado, la VMP fue la variable menos fiable y la Vmax la variable más fiable.

Tabla 8. Valores de velocidad media (VM), velocidad media propulsiva (VMP), y velocidad máxima (Vmax) asociados a cada carga relativa (% 1RM) para el press de banca lanzado solo-concéntrico y con CEA.

Carga (% 1RM)	Press banca lanzado solo-concéntrico			Press banca lanzado con CEA		
	VM (m·s ⁻¹)	VMP (m·s ⁻¹)	Vmax (m·s ⁻¹)	VM (m·s ⁻¹)	VMP (m·s ⁻¹)	Vmax (m·s ⁻¹)
20	1,35 ± 0,08	1,47 ± 0,11	2,58 ± 0,12	1,59 ± 0,06	1,87 ± 0,08	2,52 ± 0,12
25	1,27 ± 0,08	1,39 ± 0,11	2,44 ± 0,11	1,50 ± 0,06	1,76 ± 0,07	2,39 ± 0,11
30	1,20 ± 0,07	1,30 ± 0,10	2,31 ± 0,11	1,41 ± 0,06	1,65 ± 0,07	2,25 ± 0,10
35	1,12 ± 0,07	1,22 ± 0,09	2,17 ± 0,10	1,32 ± 0,06	1,54 ± 0,07	2,11 ± 0,10
40	1,05 ± 0,06	1,14 ± 0,09	2,03 ± 0,10	1,24 ± 0,05	1,43 ± 0,06	1,98 ± 0,09
45	0,97 ± 0,06	1,05 ± 0,08	1,89 ± 0,09	1,15 ± 0,05	1,33 ± 0,06	1,84 ± 0,08
50	0,90 ± 0,06	0,97 ± 0,07	1,76 ± 0,09	1,06 ± 0,05	1,22 ± 0,06	1,70 ± 0,08
55	0,82 ± 0,05	0,89 ± 0,07	1,62 ± 0,08	0,97 ± 0,05	1,11 ± 0,06	1,56 ± 0,07
60	0,75 ± 0,05	0,80 ± 0,06	1,48 ± 0,08	0,89 ± 0,05	1,00 ± 0,05	1,43 ± 0,07
65	0,68 ± 0,04	0,72 ± 0,05	1,34 ± 0,08	0,80 ± 0,05	0,89 ± 0,05	1,29 ± 0,07
70	0,60 ± 0,04	0,63 ± 0,05	1,21 ± 0,08	0,71 ± 0,05	0,78 ± 0,05	1,15 ± 0,07
75	0,53 ± 0,04	0,55 ± 0,04	1,07 ± 0,08	0,62 ± 0,04	0,67 ± 0,05	1,02 ± 0,07
80	0,45 ± 0,04	0,47 ± 0,04	0,93 ± 0,08	0,53 ± 0,04	0,57 ± 0,05	0,88 ± 0,07
85	0,38 ± 0,03	0,38 ± 0,04	0,79 ± 0,08	0,45 ± 0,04	0,46 ± 0,05	0,74 ± 0,07
90	0,30 ± 0,03	0,30 ± 0,04	0,66 ± 0,08	0,36 ± 0,04	0,35 ± 0,05	0,61 ± 0,08
95	0,23 ± 0,03	0,21 ± 0,04	0,52 ± 0,09	0,27 ± 0,04	0,24 ± 0,05	0,47 ± 0,08
100	0,15 ± 0,03	0,13 ± 0,04	0,38 ± 0,09	0,18 ± 0,05	0,13 ± 0,05	0,33 ± 0,09

Tabla 9. Comparación entre el coeficiente de variación (CV) con un intervalo de confianza del 95% para cada carga relativa (%1RM) entre las diferentes variables de la velocidad en el ejercicio de press de banca lanzado solo-concéntrico.

Carga (%1RM)	Tipo de variable de la velocidad		
	Velocidad Media (VM)	Velocidad Media Propulsiva (VMP)	Velocidad Máxima (Vmax)
20	3,34% (2,66%–4,48%) ^b	4,74% (3,78%–6,37%)	2,51% (2,00%–3,38%) ^{a,b}
25	3,33% (2,65%–4,47%) ^b	4,70% (3,74%–6,32%)	2,50% (1,99%–3,36%) ^{a,b}
30	3,32% (2,64%–4,46%) ^b	4,66% (3,71%–6,26%)	2,49% (1,98%–3,35%) ^{a,b}
35	3,32% (2,64%–4,46%) ^b	4,61% (3,67%–6,20%)	2,49% (1,98%–3,35%) ^{a,b}
40	3,32% (2,65%–4,47%) ^b	4,56% (3,64%–6,14%)	2,50% (1,99%–3,36%) ^{a,b}
45	3,34% (2,66%–4,49%) ^b	4,52% (3,60%–6,07%)	2,52% (2,00%–3,38%) ^{a,b}
50	3,37% (2,68%–4,53%) ^b	4,48% (3,56%–6,02%)	2,55% (2,03%–3,43%) ^{a,b}
55	3,42% (2,73%–4,60%) ^b	4,44% (3,54%–5,97%)	2,62% (2,09%–3,52%) ^{a,b}
60	3,51% (2,80%–4,72%) ^b	4,42% (3,52%–5,94%)	2,72% (2,17%–3,66%) ^{a,b}
65	3,65% (2,91%–4,91%) ^b	4,43% (3,53%–5,96%)	2,88% (2,29%–3,87%) ^{a,b}
70	3,87% (3,08%–5,21%) ^b	4,50% (3,59%–6,05%)	3,11% (2,48%–4,18%) ^{a,b}
75	4,21% (3,36%–5,67%)	4,68% (3,73%–6,29%)	3,46% (2,75%–4,65%) ^{a,b}
80	4,75% (3,78%–6,39%)	5,07% (4,04%–6,82%)	3,97% (3,16%–5,33%) ^{a,b}
85	5,60% (4,46%–7,53%)	5,85% (4,66%–7,87%)	4,72% (3,76%–6,35%) ^{a,b}
90	7,02% (5,59%–9,44%)	7,40% (5,90%–9,95%)	5,88% (4,68%–7,91%) ^{a,b}
95	9,56% (7,62%–12,85%)	10,65% (8,48%–14,32%)	7,75% (6,17%–10,42%) ^{a,b}
100	14,85% (11,83%–19,97%) ^b	18,78% (14,95%–25,24%)	11,08% (8,82%–14,89%) ^{a,b}
TOTAL	4,93 ± 3,06% ^b	6,03 ± 3,65%	3,87 ± 2,36% ^{a,b}

^a, significativamente más fiable que la VM; ^b, significativamente más fiable que la VMP; ^c, significativamente más fiable que la Vmax. La significación fue definida como un ratio del CV > 1,15. TOTAL, media ± Desviación Típica (SD) obtenido de la relación total carga-velocidad.

Tabla 10. Comparación entre el coeficiente de variación (CV) con un intervalo de confianza del 95% en cada carga relativa (%1RM) entre las diferentes variables de la velocidad en el ejercicio de press de banca lanzado con CEA.

Carga (%1RM)	Tipo de variable de la velocidad		
	Velocidad Media (VM)	Velocidad Media Propulsiva (VMP)	Velocidad Máxima (Vmax)
20	2,25% (1,79%–3,02%) ^b	2,68% (2,13%–3,60%)	1,96% (1,56%–2,64%) ^b
25	2,23% (1,77%–3,00%) ^b	2,65% (2,11%–3,57%)	1,91% (1,52%–2,57%) ^{a,b}
30	2,22% (1,76%–2,98%) ^b	2,63% (2,10%–3,54%)	1,86% (1,48%–2,49%) ^{a,b}
35	2,21% (1,76%–2,97%) ^b	2,62% (2,09%–3,52%)	1,81% (1,44%–2,43%) ^{a,b}
40	2,22% (1,76%–2,98%) ^b	2,61% (2,08%–3,51%)	1,76% (1,41%–2,37%) ^{a,b}
45	2,24% (1,78%–3,01%) ^b	2,61% (2,08%–3,51%)	1,74% (1,38%–2,34%) ^{a,b}
50	2,28% (1,82%–3,07%) ^b	2,63% (2,10%–3,54%)	1,74% (1,38%–2,33%) ^{a,b}
55	2,36% (1,88%–3,17%)	2,68% (2,14%–3,61%)	1,77% (1,41%–2,39%) ^{a,b}
60	2,48% (1,98%–3,34%)	2,78% (2,21%–3,74%)	1,87% (1,49%–2,52%) ^{a,b}
65	2,68% (2,13%–3,60%)	2,95% (2,35%–3,96%)	2,06% (1,64%–2,76%) ^{a,b}
70	2,97% (2,36%–3,99%)	3,22% (2,57%–4,33%)	2,36% (1,88%–3,17%) ^{a,b}
75	3,40% (2,71%–4,58%)	3,67% (2,93%–4,94%)	2,82% (2,25%–3,79%) ^{a,b}
80	4,05% (3,23%–5,45%)	4,40% (3,51%–5,92%)	3,51% (2,79%–4,71%) ^{a,b}
85	5,03% (4,01%–6,76%)	5,60% (4,46%–7,53%)	4,52% (3,60%–6,07%) ^b
90	6,58% (5,24%–8,84%) ^b	7,71% (6,14%–10,37%)	6,06% (4,82%–8,14%) ^b
95	9,22% (7,34%–12,39%) ^b	11,93% (9,50%–16,04%)	8,56% (6,82%–11,51%) ^b
100	14,52% (11,56%–19,51%) ^b	23,48% (18,70%–31,56%)	13,21% (10,52%–17,76%) ^b
TOTAL	4,05 ± 3,31% ^b	5,11 ± 5,34%	3,50 ± 3,13% ^{a,b}

^a, significativamente más fiable que la VM; ^b, significativamente más fiable que la VMP; ^c, significativamente más fiable que la Vmax. La significación fue definida como un ratio del CV > 1,15. TOTAL, media ± Desviación Típica (SD) obtenido de la relación total carga-velocidad.

4.3 MÉTODO DE DOS PUNTOS: PROPUESTA PARA UNA EVALUACIÓN RÁPIDA Y SIN FATIGA DE LA REPETICIÓN MÁXIMA EN PRESS DE BANCA.

4.3.1 ESTUDIO V: Feasibility of the 2-point method for determining the 1-repetition maximum in the bench press exercise.

La magnitud de las cargas absolutas (kg) y relativas (%1RM) asociadas a una alta velocidad ($\approx 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y a una baja velocidad ($\approx 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) fueron mayores para la VMP respecto a la VM y para el press de banca con CEA, respecto al press de banca solo-concéntrico (Tabla 11). La única excepción fue la comparación entre VM y VMP para una baja velocidad en el press de banca con CEA, en la cual no se obtuvieron diferencias significativas. Las velocidades bajas y altas utilizadas no difirieron significativamente entre las variables de velocidad ni las modalidades de press de banca.

Tabla 11. Comparación de las cargas absolutas y relativas y su valor de velocidad asociada para cada variable de velocidad (VM y VMP) y modalidades de press de banca (solo-concéntrico y con CEA; $n = 56$)

Modalidad de Press de Banca	Variable	VM		VMP	
		Alta Velocidad ($\approx 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Baja Velocidad ($\approx 0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Alta Velocidad ($\approx 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Baja Velocidad ($\approx 0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)
Solo-concéntrico	Carga (kg)	28,8 (6,1)	57,4 (9,7)	30,8 (6,5)*	58,3 (9,6)*
	% 1RM	37,8 (5,1)	75,5 (6,0)	40,4 (5,4)*	76,7 (5,8)*
	Velocidad ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,01 (0,07)	0,50 (0,06)	1,01 (0,08)	0,49 (0,06)
CEA	Carga (kg)	41,8 (6,6)**	66,5 (10,5)**	44,3 (7,0)*, **	66,6 (10,3)**
	% 1RM	52,1 (5,0)**	82,7 (4,7)**	55,3 (5,7)*, **	82,9 (4,7)**
	Velocidad ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,99 (0,07)	0,50 (0,07)	1,00 (0,08)	0,50 (0,07)

*significativamente diferente a VM; **significativamente diferente a press de banca solo-concéntrico; ($P < 0,05$). Datos presentados como media (desviación estándar).

La 1RM real estuvo altamente correlacionada con todos los métodos de estimación de la 1RM en ambas modalidades de press de banca tradicional (solo-concéntrico y con CEA). Sin embargo, las correlaciones obtenidas para las velocidades altas ($1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) ($r = 0,847-0,876$) fueron algo más débiles que para las velocidades bajas ($0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) ($r = 0,960-0,968$) y para el método de dos puntos ($r = 0,956-0,977$). Las ecuaciones generales de carga-velocidad, subestimaron sistemáticamente la 1RM real en la modalidad solo-concéntrico, y

sobreestimaron la 1RM real en la modalidad con CEA (**Figura 12**). Las diferencias con la 1RM real fueron más prominentes cuando la velocidad de ejecución era más alta que cuando era más baja para ambas modalidades de press de banca. Los gráficos Bland-Altman realizados tanto con la VM (**Figura 13**), como con la VMP (**Figura 14**), revelaron que la 1RM estimada a través del método de dos puntos, presentó un error sistemático (rango: desde -2,3 kg hasta 0,5 kg), y aleatorio (rango: desde 3,0 kg hasta 3,8 kg) bajo, mientras que no se observó heterocedasticidad en los errores ($r^2 = 0,053-0,082$).

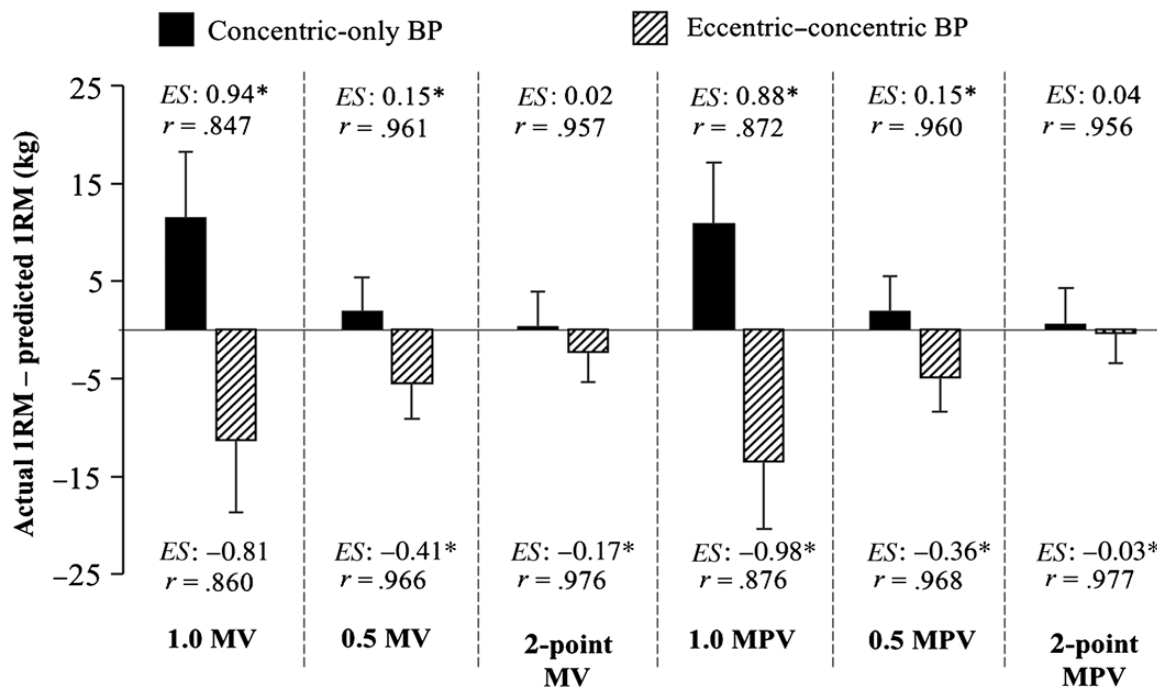


Figura 12. Diferencias absolutas entre las 1RM reales y estimadas (promedia entre los sujetos con las barras de errores SD). El tamaño de efecto Cohen (ES) (media de la 1RM real – media de la 1RM estimada / SD de ambas) y el coeficiente de correlación de Pearson (r) se indican en la parte superior para press de banca tradicional solo-concéntrico y en la parte inferior para el press de banca tradicional con CEA. Abreviaciones: BP, press de banca; ES, tamaño de efecto; MPV, Velocidad Media Propulsiva; MV, Velocidad Media; *Diferencias significativas ($P < 0,05$).

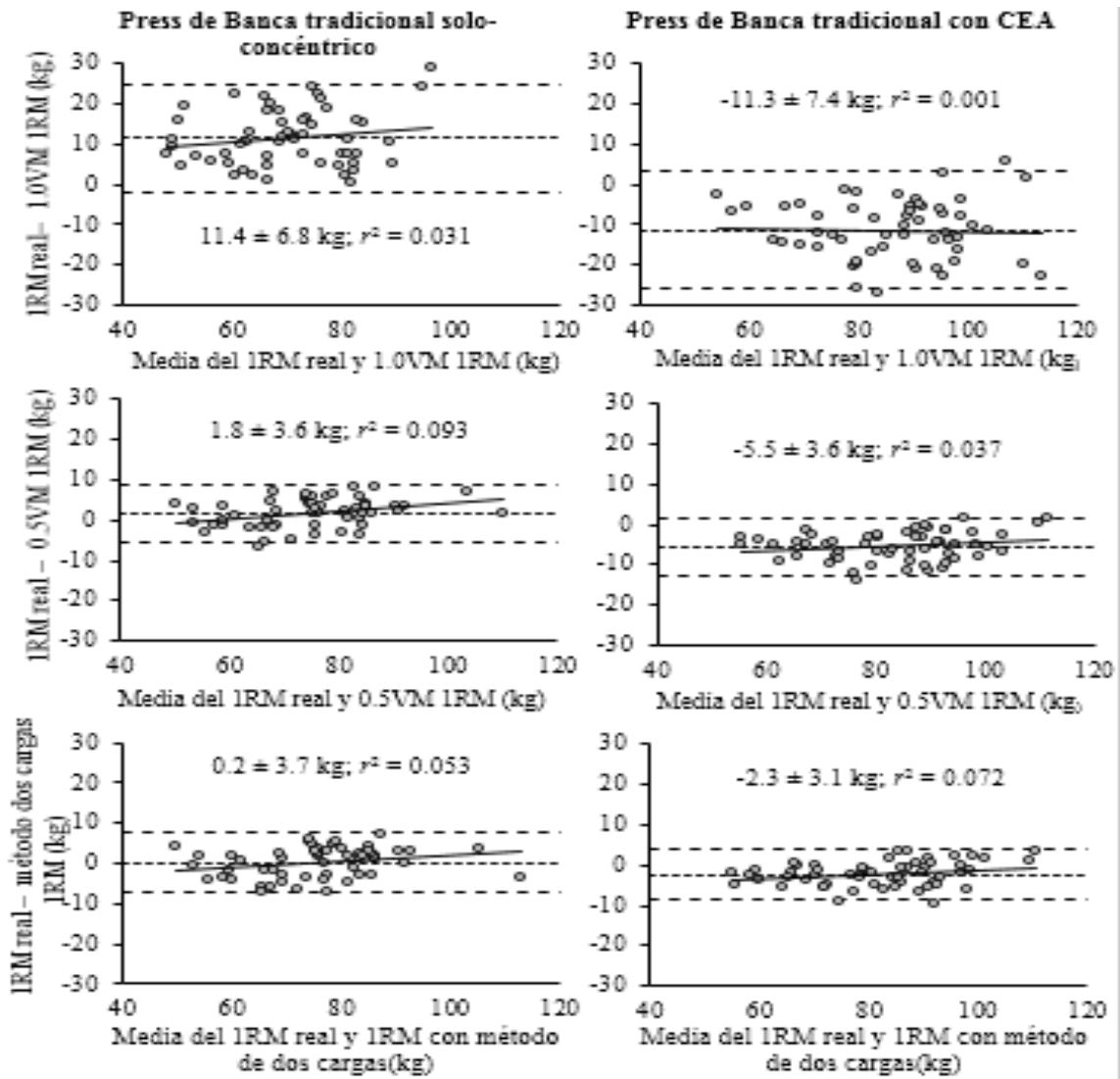


Figura 13. Gráficos de Bland-Altman que muestran las diferencias entre los 1RM reales y estimados desde la VM alta (1,0 VM; paneles superiores), baja (0,5 VM; paneles intermedios) y el método de 2 puntos (paneles inferiores) para el press de banca solo-concéntrico (paneles de la izquierda) y con CEA (paneles de la derecha). Cada gráfico representa la diferencia promediada y los límites de concordancia al 95% (líneas discontinuas), junto a la línea de regresión (línea continua). El error sistemático y el error aleatorio, junto a la fuerza de la relación (r^2) son representados en cada gráfico.

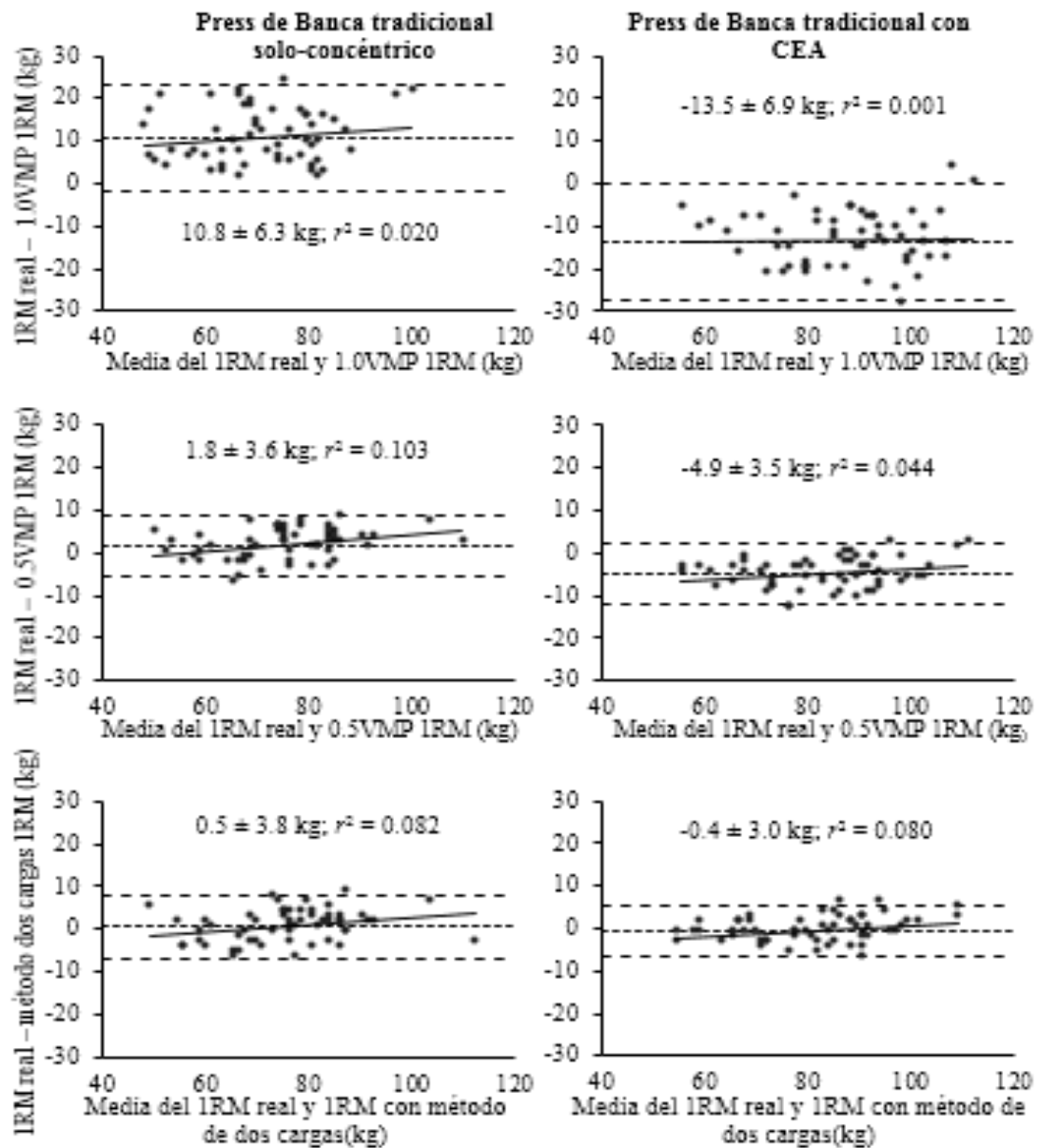


Figura 14. Gráficos de Bland-Altman que muestran las diferencias entre los 1RM reales y estimados desde la VMP alta (1,0 VMP; paneles superiores), baja (0,5 VMP; paneles intermedios) y el método de 2 puntos (paneles inferiores) para el press de banca solo-concéntrico (paneles de la izquierda) y con CEA (paneles de la derecha). Cada gráfico representa la diferencia promediada y los límites de concordancia al 95% (líneas discontinuas), junto a la línea de regresión (línea continua). El error sistemático y el error aleatorio, junto a la fuerza de la relación (r^2) son representados en cada gráfico.

La 1RM mostró una alta fiabilidad independientemente de los métodos utilizados (**Tabla 12**). Sin embargo, el método directo para evaluar la 1RM ($CV < 2\%$, $ICC \geq 0,98$) dio lugar a una mayor fiabilidad que todos los métodos indirectos. La menor fiabilidad se asoció con el uso de las ecuaciones de grupo utilizando una VMP con una alta velocidad.

Tabla 12. Comparación de la fiabilidad de los valores de IRM entre los diferentes métodos para cada modalidad de press de banca evaluada.

Modalidad	Método	Sesión 1	Sesión 2	P	ES	CV (95% IC)	CCI (95% IC)
Solo-Concéntrico	1,0 VM	64,5 ± 12,0	64,9 ± 11,3	0,666	0,03	4,62 (3,65, 6,29) ^e	0,94 (0,87, 0,97) ^e
	0,5 VM	74,6 ± 12,6	74,0 ± 10,8	0,490	-0,05	3,94 (3,11, 5,36) ^e	0,94 (0,88, 0,97) ^e
	1,0 VMP	65,6 ± 12,6	65,0 ± 11,3	0,501	-0,05	5,35 (4,23, 7,28) ^{b,e}	0,92 (0,84, 0,96) ^e
	0,5 VMP	74,7 ± 12,5	73,9 ± 10,8	0,308	-0,07	3,73 (2,95, 5,08) ^e	0,95 (0,89, 0,98) ^e
	Dos puntos VM	76,3 ± 13,0	75,5 ± 11,0	0,373	-0,07	4,55 (3,60, 6,19) ^e	0,92 (0,84, 0,96) ^e
	Dos puntos MPV	75,8 ± 12,8	75,4 ± 10,6	0,735	-0,03	5,11 (4,04, 6,96) ^{b,e}	0,90 (0,79, 0,95) ^e
	Directo	76,3 ± 13,0	76,0 ± 12,7	0,538	-0,02	1,97 (1,56, 2,68)	0,99 (0,97, 0,99)
Con CEA	1,0 VM	91,4 ± 13,6	92,7 ± 14,8	0,229	0,09	3,86 (3,05, 5,25) ^e	0,93 (0,86, 0,97) ^e
	0,5 VM	86,3 ± 13,1	86,1 ± 13,4	0,790	-0,02	3,27 (2,58, 4,45) ^e	0,96 (0,91, 0,98)
	1,0 VMP	94,2 ± 13,9	94,2 ± 13,7	0,975	0,00	5,03 (3,97, 6,84) ^{a,b,c,d,e}	0,89 (0,78, 0,95) ^{a,b,e}
	0,5 VMP	85,8 ± 13,0	85,4 ± 13,4	0,599	-0,03	3,24 (2,56, 4,41) ^e	0,96 (0,91, 0,98)
	Dos puntos VM	83,4 ± 12,9	82,7 ± 13,3	0,429	-0,05	3,16 (2,50, 4,30) ^e	0,95 (0,89, 0,97) ^e
	Dos puntos VMP	81,6 ± 12,8	80,6 ± 13,4	0,215	-0,08	3,05 (2,41, 4,15) ^e	0,95 (0,89, 0,98) ^e
	Directo	80,5 ± 13,7	80,9 ± 14,2	0,396	0,03	1,86 (1,47, 2,53)	0,98 (0,96, 0,99)

5. Discusión.

5.1 Discusión Estudio I: Comparison of mechanical outputs between the traditional and ballistic bench press: Role of the type of variable.

En la línea con nuestra hipótesis general, los resultados apoyan el uso de press de banca lanzado sobre el press de banca tradicional para el desarrollo de potencia debido a las mayores velocidades desarrolladas. Nuestras hipótesis específicas también fueron confirmadas debido a que la mayoría de las diferencias existentes entre el ejercicio de press de banca tradicional y lanzado no se vieron afectados por la técnica de ejecución (es decir, solo-concéntrico y con ciclo estiramiento-acortamiento (CEA)), mientras que el tipo de variable considerada sí afectó significativamente a la comparativa entre el press de banca tradicional y lanzado.

Respecto a la comparación de los **valores de fuerza** entre ambos ejercicios, primero debemos señalar que la fuerza media debería ser igual en todas las ejecuciones y sujetos ya que la carga desplazada fue idéntica (27 kg) al no considerar el peso de los brazos. Esto es debido a que el intervalo analizado empieza y acaba con la velocidad = $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y por tanto la aceleración media es $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Como resultado, las diferencias minúsculas presentadas en la **Tabla 2**, se originan exclusivamente por una precisión limitada de los datos experimentales, y por lo tanto, la fuerza media debería de ser descartada como variable válida cuando se comparen los valores de fuerza bajo las mismas condiciones de carga.

Respecto a las restantes variables de fuerza, los hallazgos sugieren o bien la ventaja del press de banca tradicional (fuerza media propulsiva), o bien la ausencia de diferencias significativas entre ambos ejercicios (fuerza media acelerativa y fuerza máxima). La menor fuerza media propulsiva observada en el press de banca lanzado probablemente es causada porque una parte de la fase de vuelo con una producción de fuerza casi nula es incluida en los cálculos para el press de banca lanzado (Jaric & Garcia-Ramos, 2018). Los valores de fuerza media acelerativa y de fuerza máxima están en concordancia con estudios anteriores (Lake et al., 2012; Newton et al., 1996). En general, podríamos destacar que ninguna variable de fuerza analizada en este estudio fue capaz de detectar la mayor producción de fuerza desarrollada

durante el press de banca lanzado en comparación con el press de banca tradicional (Newton et al., 1996).

Si partimos de la mecánica newtoniana, el cambio de velocidad de una masa es directamente proporcional al impulso neto aplicado (Linthorne, 2001). Esto implica que a partir de una posición estática, no es posible alcanzar velocidades más altas contra una masa dada con un impulso menor. Por lo tanto, debido a que los **valores de velocidad** fueron mayores para el press de banca lanzado si lo comparamos con el press de banca tradicional en los 4 tipos de variables y en las 2 técnicas de ejecución, el impulso de la fuerza debería de ser también mayor para el press de banca lanzado. La mayor velocidad observada en el press de banca lanzado está en consonancia con estudios previos (García-Ramos, Padial, García-Ramos, et al., 2015; Newton et al., 1996). Sin embargo, la magnitud de las diferencias entre el ejercicio press de banca tradicional y press de banca lanzado se ven influenciadas también en función del tipo de variable considerada. Al contrario que los valores de fuerza y potencia, las mayores diferencias en velocidad a favor del press de banca lanzado fueron observadas para la VMP, debido a que en esta se encuentra incluida la fase inicial del vuelo de la barra con la alta velocidad que esta fase manifiesta.

Prácticamente, todas las variables de **potencia** fueron mayores en el press de banca lanzado. La única excepción fue la potencia media propulsiva (PMP), que fue mayor en el press de banca tradicional. Este hallazgo se encuentra en consonancia con los resultados presentados por Loturco et al. (2017), pero entra en contradicción con los presentados por García-Ramos et al. (2018). Curiosamente, aunque en este estudio usamos la misma marca de transductor lineal de velocidad (T-Force System, Ergotech, Murcia) usado por Loturco et al. (2017), García-Ramos et al. (2018), usó un transductor lineal de posición diferente (Real Power Pro Gobus, Codogne, Italy). Por tanto, esto nos puede hacer ver que existe la posibilidad de que los valores medios propulsivos se vean significativamente afectados por el tipo de transductor lineal de posición/velocidad utilizado. Tomando en cuenta tal limitación de la PMP, el análisis de las otras variables medidas parece confirmar la ventaja del ejercicio balístico (press de banca lanzado) sobre el press de banca tradicional en términos de valores de potencia.

Los mecanismos y efectos del CEA en la producción de fuerza han recibido la atención científica durante décadas (Bosco, Viitasalo, Komi, & Luhtanen, 1982; Newton et al., 1997). Nuestros resultados confirman el incremento en la producción de fuerza por el CEA, particularmente durante la fase temprana de la acción muscular concéntrica (**figura 5**) (Cronin, McNair, & Marshall, 2001; Newton et al., 1997; Wilson, Elliott, & Wood, 1991). Como consecuencia, en la línea de estudios previos (Cronin & Marshall, 2003; Newton et al., 1997), todas las variables medias de fuerza, velocidad y potencia fueron más altas para la técnica con CEA. Sin embargo, aunque la máxima fuerza fue mayor para la técnica con CEA (véase figura 5, la cual muestra que la producción máxima de fuerza es conseguida al principio de la fase concéntrica), no se hallaron diferencias significativas en relación a los valores máximos de velocidad y potencia. Tales resultados pueden provenir del hecho de que los valores máximos de velocidad y potencia ocurren en la parte final de la fase concéntrica. Por tanto, ambas técnicas de ejecución podrían ser recomendadas durante programas de entrenamiento puesto que maximizan la producción de fuerza en diferentes fases del movimiento.

Las deficiencias y limitaciones de los transductores lineales de posición para determinar el punto exacto final de la fase concéntrica durante los ejercicios balísticos compromete en gran medida el uso de valores medios para evaluar el rendimiento en el ejercicio de press de banca lanzado (Jaric & Garcia-Ramos, 2018). En este sentido, sugerimos que los valores máximos deberían reportarse cuando evaluamos el rendimiento en ejercicios balísticos (p. ej. saltos, press de banca lanzado, etc.) a través de un transductor lineal de posición. La V_{max} , la cual está directamente determinada por el impulso de fuerza, debería de ser preferida sobre los valores de fuerza y potencia máxima. Este punto de vista podría estar apoyado por resultados previos que mostraron que la velocidad máxima durante el press de banca tradicional y el press de banca lanzado es más reproducible que la potencia máxima (García-Ramos et al., 2016). Por lo tanto, la velocidad máxima es sugerida como la variable más recomendada para evaluar el rendimiento durante los ejercicios de entrenamiento de fuerza realizados ante una sola carga.

La principal limitación de este estudio fue el uso de una sola magnitud de carga (27kg). Es sabido que la magnitud de la carga podría afectar considerablemente a las diferencias observadas entre los ejercicios de press de banca tradicional y lanzado (Cronin & Marshall, 2003), así como a las diferencias observadas entre ambas técnicas de ejecución (solo-concéntrico y con CEA) (Pérez-Castilla, Comfort, McMahon, Pestaña-Melero, & García-

Ramos, 2018). Específicamente, con cargas más altas es probable que se reduzcan las diferencias entre los ejercicios debido tanto a una reducción de fuerza menos prominente cercana al final del ejercicio de press de banca tradicional (fase de frenado), como a la fase de vuelo menos pronunciada en el ejercicio de press de banca lanzado. Cargas altas deberían también reducir las diferencias observadas entre las técnicas de ejecución, puesto que la fuerza inicial de la técnica solo-concéntrico debería de ser mayor, reduciéndose la ventaja del CEA. Sin embargo, debido al amplio análisis del tipo de variables examinadas, decidimos usar una única carga externa para reducir el número de comparaciones. También habría que tener en cuenta que reclutamos una muestra relativamente homogénea en cuanto a sus niveles de fuerza máxima (27 kg representó el $33,4 \pm 2,8\%$ 1RM [rango: 28-38% 1RM]).

5.2 Discusión Estudio II: Differences in the load-velocity profile between 4 bench-press variants.

El presente estudio exploró la relación carga-velocidad en las 4 modalidades de press de banca que comúnmente se ejecutan en el ámbito de la práctica deportiva. Uno de los principales hallazgos fue la fuerte relación lineal entre la VM y la carga relativa a través de las 4 modalidades de press de banca evaluadas. Apoyando nuestra primera hipótesis, la relación carga-velocidad demostró ser dependiente del ejercicio realizado. La mayor diferencia en las relaciones carga-velocidad fue observada entre las técnicas de ejecución (mayor VM para todas las cargas relativas en las modalidades con CEA). La segunda hipótesis fue rechazada ya que la VM estuvo significativamente y positivamente correlacionada entre las 4 modalidades de press de banca (es decir, sujetos que obtuvieron mayores velocidades para cada % 1RM en 1 modalidad de press de banca, también tendieron a tener mayores velocidades para cada % 1RM en las otras 3 modalidades de press de banca). Así pues, estos resultados sugieren la necesidad de obtener ecuaciones específicas para cada modalidad de press de banca, así como la existencia de perfiles individuales de carga-velocidad.

Fuertes relaciones lineales entre la VM y el %1RM fueron observadas para todas las modalidades de press de banca ($r^2 > 0,96$ para datos agrupados y $r^2 > 0,98$ para datos individuales). Estos resultados demostraron un error de la estimación bajo a través de las ecuaciones generales de carga-velocidad (SEE = 3,96 – 4,95 % 1RM), lo que parece apoyar el uso de modelos de regresión lineal para estimar la carga relativa a partir de la velocidad de la barra alcanzada en las 4 modalidades de press de banca ejecutadas en una máquina Smith. La linealidad más fuerte de las relaciones carga-velocidad y el menor error de la estimación se observó para el press de banca lanzado con CEA ($r^2 = 0,979$ y SEE = 3,96 % 1RM). Estos resultados, ligeramente mejores (es decir, mayor r^2 y menor SEE) obtenidos en el presente estudio para la técnica de ejecución con CEA, están en desacuerdo con los resultados reportados por Pallarés et al., (2014) que encuentran una mayor r^2 y un menor SEE en la técnica de ejecución solo-concéntrico. Estos resultados pueden ser explicados por las diferentes instrucciones dadas a los sujetos en relación con la ejecución de la fase excéntrica (fase excéntrica controlada vs. fase excéntrica rápida). Por lo tanto, una fase excéntrica rápida podría ser preferible para ganar precisión en la determinación de la relación carga-velocidad. Sin embargo, estas pequeñas diferencias pueden ser irrelevantes en un ajuste práctico, lo que

sugiere que la relación carga-velocidad debe determinarse con la técnica más representativa del tipo de ejercicio usado en las sesiones de entrenamiento de cada individuo.

La velocidad alcanzada para cada %1RM fue específica para cada modalidad del press de banca. En consonancia con Pallarés et al., (2014), la VM asociada a cada %1RM fue mayor para la técnica de ejecución con CEA que para para la técnica solo-concéntrico. Estas diferencias se vieron disminuidas cuando la carga fue aumentando (es decir, diferencias más pequeñas a %1RM más alto), resaltando el efecto de la potenciación de la fase excéntrica del movimiento en cargas ligeras. El tipo de ejercicio (tradicional vs. balístico) resultó tener efectos triviales en la relación carga-velocidad. La fase de vuelo de la barra, la cual se incluye en los cálculos de la VM, podría ser parcialmente responsable de la atenuación de las diferencias entre los ejercicios balísticos y tradicionales del press de banca. Por tanto, se deduce, que se deberían de usar ecuaciones de regresión independientes para cada modalidad de press de banca. Dado que una fase excéntrica más rápida podría aumentar el rendimiento de la subsiguiente fase concéntrica (Komi, 2000), es plausible que la relación carga-velocidad podría ser parcialmente dependiente de la velocidad de fase excéntrica.

Los valores de 1RM y V1RM fueron mayores en el press de banca con CEA que con la técnica de ejecución solo-concéntrico. La mayor velocidad obtenida al inicio del levantamiento debido al uso del CEA, podría permitir al ejecutante superar el “sticking point” o punto de estancamiento, y a su vez aumentar la 1RM y su respectiva velocidad (Van den Tillaar & Ettema, 2010). Suponiendo que la velocidad en la 1RM es estable entre los sujetos, varios estudios han tenido como objetivo predecir la 1RM desde la relación carga-velocidad individual pero usando una V1RM común para todos los sujetos (Pérez-Castilla, Suzovic, Domanovic, Fernandes, & García-Ramos, 2019). Los resultados del presente estudio, sugieren que este umbral de velocidad debe de ser ligeramente mayor para el press de banca con CEA que para la técnica solo-concéntrico.

González-Badillo & Sánchez-Medina (2010), postulan que las diferencias individuales de la relación carga-velocidad pueden ser explicada por la V1RM (mayor V1RM = mayor VM para un determinado %1RM). Sin embargo, los resultados del presente estudio no mostraron una correlación significativa entre la VM de la prueba (es decir, promedio de todos los %1RM) y la V1RM en 3 de las 4 modalidades de press de banca evaluadas. Por otra parte, la velocidad

media de la prueba estuvo significativamente y positivamente correlacionada entre las 4 modalidades de press de banca ($r = 0,44-0,76$), lo cual indica que los sujetos que poseen mayor VM en 1 de las modalidades de press de banca también tenderán a tener mayor VM de la prueba en las otras 3 modalidades. Hay que tener en cuenta que una mayor VM de la prueba sería obtenida por sujetos que pueden producir una mayor fuerza contra cargas submáximas. Los resultados del presente estudio sugieren que la variabilidad de las relaciones individuales de carga-velocidad podría ser explicada porque realmente cada sujeto tenga un perfil carga-velocidad diferenciado. Estos resultados están de acuerdo con recientes estudios, los cuales muestran grandes diferencias entre sujetos en los perfiles de fuerza-velocidad (Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2016; Jiménez-Reyes et al., 2017; Samozino et al., 2014). Por lo tanto, la evaluación del perfil carga-velocidad individual podría ser recomendada para una prescripción más precisa de la carga durante los programas de entrenamiento de fuerza.

Los valores de VM fueron usados en este estudio en lugar de los valores de VMP puesto que son fáciles de determinar con los datos que se pueden recopilar por la mayoría de dispositivos disponibles en el mercado para monitorizar la velocidad de movimiento (p. ej. aplicaciones móviles y acelerómetros) (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017). Es posible que las relaciones carga-velocidad puedan diferir entre las técnicas de ejecución (solo-concéntrico vs. con CEA) y tipo de ejercicio (balístico vs tradicional) si se usa la VMP. Los estudios futuros deben dilucidar si los resultados del presente estudio son transferibles a las ejecuciones del press de banca con peso libre.

Para concluir, todas las relaciones carga-velocidad fueron altamente lineales, pero difirieron considerablemente entre las 4 modalidades de press de banca evaluadas. Esto es, la velocidad alcanzada para cada % 1RM fue notablemente más alta para la técnica de ejecución con CEA que para la técnica solo-concéntrico. Las diferencias entre el press de banca tradicional y lanzado fueron menos pronunciadas, y la única diferencia significativa fue la mayor VM asociada con las cargas ligeras hasta moderadas (20-70% 1RM) en el press de banca lanzado utilizando la técnica solo-concéntrica. Las asociaciones positivas de la VM de la prueba entre las 4 modalidades de press de banca sugieren la existencia de perfiles individuales de carga-velocidad. Por lo tanto aunque las ecuaciones generales proporcionadas en el presente estudio para cada modalidad de press de banca podrían ser usadas, los profesionales de la

actividad física y el deporte deben de ser conscientes de que la evaluación individual es deseable puesto que el perfil carga-velocidad es dependiente de cada sujeto.

5.3 Discusión Estudio III: Reliability of the load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1-repetition maximum load.

En el presente estudio se comparó la fiabilidad entre la relación carga-velocidad obtenida en 2 modalidades de ejercicio de press de banca tradicional (solo-concéntrico y con CEA) a través de 2 modelos de regresión (lineal de primer orden vs. polinomial de segundo orden). Este estudio proporcionó 4 hallazgos novedosos: (1) los polinomios de primer orden proporcionan la relación carga-velocidad con mayor fiabilidad que el modelo de segundo orden; (2) la fiabilidad de la relación carga-velocidad no difiere entre las modalidades de press de banca solo-concéntrico y con CEA; (3) la magnitud significativa y generalmente alta de los valores de los CCIs (valores medios del CCI desde 0,73 hasta 0,78), implica que la relación carga-velocidad es dependiente del participante; y (4) la variabilidad intra-sujetos en la velocidad alcanzada en cada %1RM es notablemente mejor que la variabilidad entre-sujetos para casi todos los %1RM. En conjunto, estos 3 resultados ponen de manifiesto que, independientemente de las modalidades de press de banca considerada, la determinación individual de la relación carga-velocidad por un modelo de regresión lineal, es el método más preciso para monitorizar y prescribir la carga relativa en el ejercicio de press de banca tradicional.

Las relaciones individuales entre la carga relativa y la VM fueron muy fuertes y claramente lineales para las dos modalidades de press de banca tradicional evaluadas en este estudio (con CEA y solo-concéntrico) ($r^2 = 0,988-0,990$). La pequeña cantidad de varianza adicional que podría explicarse por los polinomios de segundo orden ($r^2 = 0,995$), sugiere que los polinomios de primer orden deberían ser preferidos debido a su simplicidad. Así pues, de acuerdo con nuestra primera hipótesis, la idoneidad de la regresión lineal para modelar la relación carga-velocidad fue apoyada ampliamente por contar además con una mayor fiabilidad absoluta en comparación con el modelo de regresión polinomial (**Tabla 5 y 6**). Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que ha comparado la fiabilidad de la relación carga-velocidad entre los modelos de regresión lineal y polinomial. Por lo tanto, se requieren estudios adicionales para confirmar si estos resultados pueden obtenerse también en otros ejercicios comúnmente implementados durante los programas de entrenamiento de fuerza.

La fiabilidad intra-sesión de la relación carga-velocidad ya fue explorada por Pallarés et al., (2014), quién mostró una menor fiabilidad para el press de banca tradicional con CEA comparado con el press de banca tradicional solo-concéntrico, ambos realizados en una máquina Smith. Sin embargo, contrariamente a nuestra segunda hipótesis, la fiabilidad entre-sesiones de la relación carga-velocidad obtenida en el presente estudio no difirió entre ambas técnicas de ejecución (solo-concéntrico y con CEA). Cabe señalar que Pallarés et al., (2014), instruyó a los participantes a realizar la fase excéntrica a una velocidad baja y controlada ($\approx 0,45-0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), mientras que en nuestro estudio los participantes fueron instruidos a realizar la fase excéntrica a la máxima velocidad posible para potenciar así el CEA. Por lo tanto, creemos que las demandas cognitivas más bajas en nuestro modo de ejecución (es decir, nuestros participantes fueron instruidos para realizar la fase excéntrica y concéntrica lo más rápido posible en lugar de realizar la fase excéntrica a una velocidad fija estipulada previamente por el investigador), podría haber mejorado la fiabilidad de la relación carga-velocidad en el presente estudio.

La relación carga-velocidad fue determinada con una fiabilidad absoluta muy alta (las media de los CV oscilaron entre 4.4% y 5.0%; **Tabla 6**) para ambas modalidades de press de banca. Sin embargo, la fiabilidad relativa fue también alta (media de los CCI oscilaron entre 0.73 y 0.78; **Tabla 7**). Se debe de señalar que un valor alto del CCI es un indicador de la estabilidad de la posición de un individuo dentro de un grupo (Hopkins, 2000b; Weir, 2005). Esto significa que los participantes que obtuvieron velocidades más altas para cada % 1RM en la primera sesión de prueba, también tendieron a obtener velocidades más altas para cada % 1RM cuando se repitió la medición. Por lo tanto, la magnitud significativa y moderadamente alta del CCI implica que la relación carga-velocidad es específica para cada participante. Este resultado podría comprometer el uso de las ecuaciones generales de carga-velocidad para predecir la carga relativa a partir de la velocidad de movimiento (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017).

Para examinar más a fondo si el perfil carga-velocidad es significativamente más preciso que las ecuaciones generales de carga-velocidad, nosotros hemos comparado la variabilidad intra-sujeto y la variabilidad entre-sujetos para la velocidad alcanzada en cada % 1RM. Contrariamente a otra de nuestras hipótesis, el CV intra-sujeto fue más bajo que el CV entre-sujetos para todos los % 1RM. Estos resultados están en consonancia con recientes estudios, los cuales muestran diferencias pronunciadas entre individuos en el perfil fuerza-

velocidad (Giroux et al., 2016; Jiménez-Reyes et al., 2017; Samozino et al., 2014). Sobre la base de los resultados del presente estudio, se recomienda el perfil individual de carga-velocidad para una prescripción más precisa de las cargas relativas (% 1RM) en el ejercicio de press de banca realizado en máquina Smith. Por otra parte, un problema adicional asociado con las ecuaciones generales de carga-velocidad es que la velocidad de movimiento puede diferir sistemáticamente entre los diferentes dispositivos que se utilizan para monitorizar la velocidad de la barra (Balsalobre-Fernández, Kuzdub, Poveda-Ortiz, & Campo-Vecino, 2016a; Balsalobre-Fernández et al., 2017), así como al hacer el ejercicio en una máquina Smith o con peso libre. Por lo tanto, aunque se requieren estudios adicionales para probar esta hipótesis, creemos que las 2 aplicaciones principales del presente estudio (es decir, la relación carga-velocidad individual debe ser recomendada en lugar de las ecuaciones generales de carga-velocidad, y los modelos de regresión lineal deberían de ser usados en lugar de modelos de regresión polinomial), también podrían ser aplicables a otros ejercicios de entrenamiento de fuerza.

El presente estudio contribuye a mejorar la comprensión de la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca realizado en máquina Smith. Cabe señalar que la fiabilidad absoluta entre-sesiones de la relación carga-velocidad fue muy alta, independientemente de la técnica de press de banca usada (solo-concéntrico y con CEA), y del modelo de regresión con el que fue analizado (polinomios de primer orden y polinomios de segundo orden). Aunque la fiabilidad absoluta de las modalidades de press de banca solo-concéntrico y con CEA fue similar, el modelo de regresión lineal (primer orden), proporcionó la relación carga-velocidad con una mayor fiabilidad que el modelo de regresión polinomial (segundo orden). La alta fiabilidad relativa también indicó que existen perfiles de carga-velocidad individuales relacionados con cada participante. La existencia de tales perfiles individuales, se corroboró además por la mayor variabilidad de la velocidad alcanzada en cada % 1RM cuando se obtuvo a partir de las ecuaciones generales de carga-velocidad, en comparación con las regresiones individuales. En conjunto, los resultados del presente estudio, sugieren que el método más exacto para monitorizar y prescribir la carga relativa (%1RM) en ambas modalidades del ejercicio de press de banca evaluadas, es a través de la determinación individual de la relación carga-velocidad por un modelo de regresión lineal.

5.4 Discusión Estudio IV: Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: Which variable determines bench press relative load with higher reliability?

En este estudio exploramos y comparamos la viabilidad de 3 variables de velocidad (VM, VMP y Vmax) para determinar la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca lanzado con las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA realizado en máquina Smith. Las 3 variables de velocidad proporcionaron una relación carga-velocidad bastante lineal y altamente fiable. En la comparación entre las 3 variables, se halló que (a) la VM mostró la linealidad más fuerte de la relación carga-velocidad, seguido de la VMP, y finalmente la Vmax; (b) la exactitud de las ecuaciones generales de carga-velocidad para predecir la carga relativa (% 1RM) a partir de la velocidad de movimiento fue mayor para la VM ($SEE = 3,80 - 4,76\% 1RM$), seguida de la VMP ($SEE = 4,91 - 5,56\% 1RM$), y terminando con la Vmax ($SEE = 5,36 - 5,77\% 1RM$); y (c) la Vmax mostró el menor CV intra-sujeto (3,50 – 3,87%), seguido de la VM (4,05 – 4,93%), y finalmente la VMP (5,11 – 6,03%). En conjunto, estos resultados sugieren que la VM es la variable más apropiada para monitorizar la carga relativa en el ejercicio de press de banca lanzado.

Las 3 variables de velocidad evaluadas en este estudio han sido anteriormente ampliamente usadas en la literatura científica a fin de explorar la relación carga-velocidad (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco et al., 2018). Apoyando los resultados obtenidos para otros ejercicios de entrenamiento de fuerza, nuestros resultados confirmaron tanto la linealidad de la relación carga-velocidad como la alta precisión de las ecuaciones generales de carga-velocidad para predecir la carga relativa en el ejercicio de press de banca lanzado realizado en máquina Smith (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Muñoz-López, Marchante, Cano-Ruiz, Chicharro, & Balsalobre-Fernández, 2017; Sánchez-Moreno, Rodríguez-Rosell, Pareja-Blanco, Mora-Custodio, & González-Badillo, 2017). Sin embargo, la fiabilidad entre-sesiones de la velocidad alcanzada en cada % 1RM ha sido menos estudiada. Según nuestro conocimiento, solo Sánchez-Moreno et al., (2017) ha explorado el CV intra-sujeto de la VMP obtenida en cada % 1RM. Este mismo estudio, reportó un promedio del CV del 6,2% para cargas relativas que oscilan entre el 65-95% de la 1RM en el ejercicio de dominadas. Para el mismo rango de cargas relativas, en nuestro estudio hemos observado CV más bajos (VM = 5,2%; VMP = 5,9%; Vmax = 4,4%). La mayor fiabilidad en nuestro estudio

podría explicarse por el uso de una máquina Smith, o porque la técnica del press de banca lanzado es más simple que la del pull-up. Sin embargo, también hay que señalar que las 2 evaluaciones realizadas por Sánchez-Moreno et al., (2017) fueron separadas por un periodo de entrenamiento de 12 semanas.

Aunque el press de banca ha sido el ejercicio más utilizado para explorar la relación carga velocidad (Balsalobre-Fernández et al., 2017; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014), ningún estudio previo ha comparado la linealidad de la relación carga-velocidad y su fiabilidad entre diferentes variables de velocidad. Aunque es cierto que las 3 variables de velocidad (VM, VMP, y Vmax) proporcionaron una relación carga-velocidad bastante lineal (todas $r^2 > 0,95$), nuestros resultados sugieren que la VM es la variable que puede proporcionar la relación carga-velocidad con la linealidad más alta. La alta linealidad de la relación carga-velocidad está en consonancia con estudios previos que han demostrado que la relación fuerza-velocidad de los músculos que realizan ejercicios multiarticulares a la máxima intensidad son también altamente lineales (Jaric, 2015). Según nuestros resultados, la VM parece ser la variable más apropiada para modelar la relación carga-velocidad a través de polinomios de primer orden (regresión lineal) en el ejercicio de press de banca lanzado ya que hay que reseñar que la VM provee la relación carga-velocidad más lineal en las 2 modalidades de press de banca lanzado (solo-concéntrico y con CEA) que han sido examinadas en el presente estudio.

La VM fue la variable que proporcionó la ecuación general de carga-velocidad con mayor precisión. Numerosos estudios han proporcionado ecuaciones generales de carga-velocidad para predecir la carga relativa a partir de la velocidad de ejecución registrada en una repetición realizada con la máxima velocidad voluntaria (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Muñoz-López et al., 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez, & Pallarés, 2013; Sánchez-Moreno et al., 2017). Contrariamente a nuestros resultados González-Badillo & Sánchez-Medina (2010), mostraron que el error de la ecuación general de carga-velocidad fue ligeramente menor para la VMP ($SEE = 3,56\%$ 1RM) que para la VM ($SEE = 3,77\%$ 1RM) en el ejercicio de press de banca solo-concéntrico realizado en una máquina Smith. Estos autores también han sugerido que la VMP se debe utilizar en lugar de la VM porque es un mejor indicativo del potencial neuromuscular de un individuo al levantar cargas ligeras y medias (Sánchez-Medina et al., 2010). Aunque comparaciones entre la fiabilidad de las variables de VM y VMP en otros

ejercicios de entrenamiento de fuerza son necesarias, la VM podría ser preferible puesto que es más fácil de medir y recolectar los datos a través de la mayoría de transductores lineales de posición, así como con otros dispositivos de medición (p. ej. aplicaciones móviles, acelerómetros, etc.) (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017).

Para nuestro conocimiento, este es el primer estudio que compara la fiabilidad entre sesiones de la velocidad alcanzada en cada % 1RM entre las variables de velocidad; VM, VMP y Vmax. En línea con la mayor fiabilidad de la relación carga-velocidad y la mayor precisión en las ecuaciones generales de carga-velocidad, la fiabilidad entre-sesiones de la velocidad alcanzada para cada % 1RM fue también mayor para la VM en comparación con la VMP. La mayor fiabilidad de la VM fue especialmente destacada en las cargas ligeras y medianas (20-70% 1RM), lo que representa el rango de cargas con mayor fase de frenado (Sanchez-Medina et al., 2010). Aunque el menor CV intra-sujeto fue observado para la Vmax, nosotros creemos que la VM podría ser una variable más apropiada para predecir la carga relativa en el ejercicio de press de banca lanzado ejecutado en una máquina Smith. Hay que señalar que el error estándar de la medida fue mayor para la Vmax que para la VM, por lo que a este respecto los valores del CV más bajos observados para la Vmax, fueron causados por la mayor puntuación promedio en cada % 1RM en comparación la VM ($CV (\%) = \text{Error estándar de medida} / \text{puntuación promedio de los sujetos} \times 100$).

5.5 Discusión Estudio V: Feasibility of the 2-point method for determining the 1-repetition maximum in the bench press exercise.

Este estudio fue diseñado para explorar la validez de las relaciones carga-velocidad individualizadas modeladas a través de solamente 2 puntos (es decir, método de 2 puntos, para determinar la 1RM en el ejercicio de press de banca tradicional en una máquina Smith. Nuestros principales hallazgos revelaron una alta fiabilidad y una validez prácticamente perfecta de la 1RM predicha a través del método de 2 puntos, en comparación con la 1RM real obtenida a través del método directo. Estos resultados postulan el uso del método de 2 puntos como un método rápido, sin fatiga y práctico de predicción de la 1RM en el ejercicio de press de banca tradicional realizado en una máquina Smith. Cabe señalar que el método de 2 puntos podría superar algunas de las limitaciones asociadas con la determinación directa de la 1RM (es un procedimiento propenso a la fatiga que implica un riesgo de lesión para algunas poblaciones), así como con el uso de ecuaciones generales de carga-velocidad (la relación carga-velocidad es dependiente del sujeto en cuestión). Sin embargo, profesionales del entrenamiento de fuerza deben de ser también conscientes de que la determinación directa de la 1RM parecer ser el procedimiento más fiable ($CV < 2,0\%$), sugiriendo que la monitorización de la velocidad de movimiento no es necesaria diariamente debido a la alta reproducibilidad del valor de la 1RM.

Un requisito esencial para la aplicación del método de 2 puntos es que la relación carga-velocidad sea altamente lineal. Este requisito previo se ha cumplido en gran medida en una variedad de ejercicios de entrenamiento de fuerza (Banyard, Nosaka, & Haff, 2017; Conceição et al., 2016; Jidovtseff et al., 2011; Loturco, Kopal, et al., 2017a). Por otra parte, ha sido recientemente demostrado que la adición de cargas intermedias en una relación carga-velocidad que sea altamente lineal, no tiene un efecto significativo en sus resultados finales (Jaric, 2016; Pérez-Castilla et al., 2017). Según nuestro conocimiento, este es el primer estudio que ha explorado la validez del método de 2 puntos para estimar la 1RM. La alta concordancia existente entre la medición directa de la 1RM, y de la estimada, a través del método de 2 puntos, coloca a dicho método como un procedimiento eficiente a la hora de determinar la 1RM. Sin embargo, estudios futuros deberían de examinar si el método de 2 puntos es también capaz de estimar la 1RM con una fiabilidad y validez aceptable en otros ejercicios de entrenamiento de fuerza. En concreto, estudios futuros, deben de examinar la validez del método de 2 puntos

utilizando 2 cargas distantes (p. ej. aproximadamente 40%-50% y 70%-80% de la 1RM auto-reportada), ya que el uso de 2 cargas cercanas podría reducir la exactitud de la predicción.

Apoyando nuestra hipótesis, la 1RM estimada por el método de 2 puntos presentó un mayor nivel de concordancia con la 1RM real respecto a las ecuaciones generales de carga-velocidad propuestas por González-Badillo & Sánchez-Medina (2010). Este resultado podría ser esperado ya que las ecuaciones generales de carga-velocidad no tienen en cuenta las diferencias individuales en los perfiles de carga-velocidad. Además, los resultados del presente estudio ponen de relieve que las ecuaciones generales de carga-velocidad no pueden ser usadas indistintamente entre distintas modalidades de un mismo ejercicio. Concretamente, las ecuaciones generales de González-Badillo & Sánchez-Medina (2010), subestimaron la 1RM real en el press de banca solo-concéntrico, y por otra parte sobreestimaron la 1RM en la modalidad de press de banca con CEA.

Con la intención de replicar las condiciones del estudio de González-Badillo & Sánchez-Medina (2010), hay que señalar que utilizamos una máquina Smith, y el mismo transductor lineal de velocidad (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain) que los utilizados por los autores anteriormente citados. En este sentido, es posible que se hubieran obtenido mayores diferencias si hubiéramos evaluado el ejercicio de press de banca con peso libre o monitorizado la velocidad con otro dispositivo (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Loturco, Kobal, et al., 2017). Por lo tanto, creemos que la evaluación individual de la relación carga-velocidad a partir de solo 2 cargas (es decir, el método de 2 puntos), podría resolver todas estas limitaciones.

El método directo probó ser el procedimiento más fiable a la hora de determinar la 1RM, confirmando nuestra hipótesis de partida. Este resultado está en consonancia con los resultados obtenidos por Banyard et al., (2017), en el ejercicio de sentadilla con peso libre. Los autores reportaron una alta fiabilidad para el método directo (CCI = 0,99, CV = 2,1%), mientras que la fiabilidad para la 1RM estimada a través de la relación carga-velocidad individual fue algo menor (CCI = 0,72-0,92, CV = 5,7%-12,2%). Por lo tanto, la determinación directa de la 1RM puede proporcionar una representación más precisa de la fuerza máxima en las 2 modalidades de press de banca tradicional analizadas en el presente estudio. Por otro lado, cabe destacar que la validez del método de 2 puntos propuesto en el presente estudio, fue mayor que la relación carga-velocidad modelada por Banyard et al., (2017), a partir de múltiples cargas (3-5). Creemos que el uso de una máquina Smith y de un ejercicio más simple en nuestro

estudio (press de banca vs sentadilla), podría haber mejorado la validez de dicha relación carga-velocidad. Sin embargo, también se debe tener en cuenta que, si bien en el estudio de Banyard y et al., (2017), la velocidad de la 1RM usada para la predicción fue individualizada, en el presente estudio usamos la misma velocidad de la 1RM ($0,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) para todos los sujetos. Dada la alta variabilidad de la V1RM (Banyard, Nosaka, & Haff, 2017), debería recomendarse una velocidad fija de la 1RM para todos los sujetos cuando se intenta predecir la 1RM a través de la relación carga-velocidad individual.

Por último, vale la pena señalar que resultados sorprendentemente similares fueron obtenidos para las variables VM y VMP. Se ha propuesto que los valores de VMP se deben utilizar en lugar de la VM para no subestimar el rendimiento en cargas ligeras y medias (Sanchez-Medina et al., 2010). Por otro lado, estudios recientes sugieren que la VM podría determinar la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca lanzado con mayor fiabilidad que la VMP (García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, & Gregory Haff, 2018). Por lo tanto, como un mayor número de dispositivos pueden monitorizar con precisión la VM, pero no la VMP (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017), los profesionales del entrenamiento de fuerza deberían ser conscientes de que la VM es un indicador válido para estimar la 1RM a partir del método de 2 puntos.

6. Conclusiones.

A continuación, vamos a señalar las conclusiones generales más destacadas de cada uno de los estudios que componen la presente tesis doctoral, y que hemos ido desarrollando a lo largo de todo el manuscrito:

ESTUDIO I:

- Las técnicas de ejecución solo-concéntrico y con CEA podrían recomendarse durante los programas de entrenamiento de fuerza al maximizar la producción de fuerza en diferentes fases del movimiento.
- La Vmax es la variable más recomendada para evaluar el rendimiento ante una sola carga en el ejercicio de press de banca.
- El incremento de la carga reduce las diferencias mecánicas existentes entre los tipos de ejercicio (press de banca lanzado y press de banca tradicional) y técnicas de ejecución (solo-concéntrico y con CEA).

ESTUDIO II:

- Se hace necesario la obtención de ecuaciones específicas para cada modalidad de press de banca y se pone de manifiesto la existencia de perfiles carga-velocidad individuales.
- A pesar de que las ecuaciones específicas proporcionadas en el presente estudio podrían ser usadas, debemos de ser conscientes de que la evaluación individual es preferible puesto que el perfil carga-velocidad es específico para cada sujeto.
- Las relaciones carga-velocidad en todas las modalidades de press de banca son altamente lineales.
- La velocidad alcanzada para cada %1RM es específica para cada modalidad de press de banca.

ESTUDIO III:

- Independientemente de la modalidad de press de banca evaluada, la determinación individual de la relación carga-velocidad por un modelo de regresión lineal, es el método más preciso para monitorizar y prescribir la carga relativa en el ejercicio de press de banca.
- La alta fiabilidad relativa y la mayor variabilidad de la velocidad alcanzada en cada % 1RM cuando se obtuvo a partir de ecuaciones generales de carga-velocidad, en comparación con las regresiones individuales corroboraron la existencia de perfiles individuales de carga-velocidad.

ESTUDIO IV:

- La VM es la variable más apropiada para monitorizar la carga relativa en el ejercicio de press de banca lanzado.
- Mayor fiabilidad de la VM es especialmente destacable con cargas ligeras y medias (20-70% 1RM), lo que representa el rango de cargas con mayor fase de frenado en la ejecución.

ESTUDIO V:

- Uso del método de 2 puntos como un método rápido, sin fatiga y práctico para predecir la 1RM en el ejercicio de press de banca tradicional en máquina Smith.
- El método de 2 puntos presentó un mayor nivel de concordancia con la 1RM real en comparación con las ecuaciones generales de carga-velocidad.
- A pesar de todo esto, hay que tener en cuenta que la determinación directa de la 1RM parece ser el procedimiento más fiable ($CV < 2,0\%$).

7. Limitaciones y fortalezas.

Limitaciones.

Una de las principales limitaciones de la presente tesis doctoral fue la utilización exclusivamente de la máquina Smith para la ejecución de las distintas modalidades de press de banca evaluadas, y es posible que resultados puedan diferir cuando el press de banca se evalúa con peso libre (Loturco, Kobal, et al., 2017).

Del mismo modo, el uso de un único dispositivo de medición de la velocidad (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain), podría ser una limitación ya que el uso de otros dispositivos de medición de la velocidad de movimiento podría proporcionar resultados diferentes (Pérez-Castilla, Piepoli, Delgado-García, Garrido-Blanca, & García-Ramos, 2019; Pérez-Castilla, Piepoli, Garrido-Blanca, et al., 2019).

De manera más específica, en el estudio I nos encontramos con la limitación de que solamente evaluamos el press de banca con la carga externa de 27 kg. Por tanto, la magnitud de la carga podría afectar las diferencias observadas entre los ejercicios de press de banca tradicional y press de banca lanzado (Cronin & Marshall, 2003), así como las diferencias observadas entre ambas técnicas de ejecución (solo-concéntrico y con CEA) (Pérez-Castilla et al., 2018).

Del mismo modo, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, dentro de los estudios de la presente tesis, contamos con el primer estudio que ha comparado la fiabilidad de la relación carga-velocidad entre los modelos de regresión lineal y polinomial. Por lo tanto, se requieren estudios adicionales para confirmar si estos resultados pueden obtenerse también en otros ejercicios propios del entrenamiento de fuerza. Siguiendo esta misma línea, también se requerirá el análisis y evaluación exhaustiva de los resultados al comparar los distintos métodos de estimación de la 1RM en diferentes ejercicios de fuerza distintos a los evaluados en la presente tesis doctoral.

Fortalezas.

La fortaleza de la presente tesis doctoral viene asociada con las ventajas que tiene el uso de la velocidad de ejecución como variable para determinar la intensidad en el entrenamiento de fuerza, lo que se justifica por la estrecha relación existente entre la velocidad de ejecución y el % 1RM que ha sido confirmada por los estudios de la presente Tesis Doctoral. Esto, como se ha comentado con anterioridad en la introducción de la presente tesis, hace que superemos las limitaciones existentes de la determinación directa de la 1RM.

A día de hoy, los estudios que componen la presente Tesis Doctoral han proporcionado la evaluación más exhaustiva de la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca. Dos diferentes ejercicios (tradicional y balísticos) y variantes (sólo-concéntrico y con CEA) fueron evaluados en dos días diferentes (8 sesiones en total). La complejidad de nuestro diseño experimental nos ha permitido resolver varias cuestiones importantes relacionadas con el uso de la velocidad de ejecución para determinar la 1RM en distintas variantes del ejercicio de press de banca.

8. Futuras líneas de investigación.

Dentro de los 5 estudios que conforman la presente tesis doctoral, los cuales hemos ido desarrollando en los anteriores apartados, se presenta ciertos temas que pueden ser objeto de estudio de futuras investigaciones. En este aspecto, cabe reseñar que:

En el Estudio I hemos señalado que la V_{max} es la variable más recomendable a la hora de evaluar el rendimiento durante los ejercicios de entrenamiento de fuerza realizados ante una sola carga. En este sentido, se podría seguir una línea de investigación para corroborar tal sugerencia, realizando un estudio que reproduzca las mismas condiciones, pero evaluando otro ejercicio balístico distinto al press de banca lanzado (p. ej. salto vertical).

Por otra parte, se podría dilucidar en investigaciones futuras, si los resultados obtenidos en el Estudio II, son aplicables a las ejecuciones de press de banca con peso libre, es decir, sin máquina Smith.

Otra de las posibles futuras líneas de investigación sería la comparación de la fiabilidad de la relación carga-velocidad entre los modelos de regresión lineal y polinomial en otros ejercicios comúnmente utilizados (p. ej. sentadillas, remo, dominadas, peso muerto etc.), durante los programas de entrenamiento de fuerza que confirmen si los resultados obtenidos en el Estudio III en el ejercicio de press de banca tradicional son también aplicables a dichos ejercicios.

En el Estudio IV, nos centramos en comparar la viabilidad de 3 variables de velocidad (VM , VMP y V_{max}), a la hora de modelar la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca lanzado, con ambas técnicas de ejecución (solo-concéntrico y con CEA). Por consiguiente, se nos plantea claramente una línea de investigación futurible, que sería la comparación de tales variables con el ejercicio de press de banca tradicional, y/o con ejecuciones de press de banca con peso libre.

Por último, el estudio del método de 2 puntos recogido en nuestro Estudio V de la presente tesis doctoral, nos hace ver al método de 2 puntos como un procedimiento eficiente a la hora de determinar la 1RM. Este ha sido el primer estudio que ha explorado la validez de

tal método para estimar la 1 RM. Así pues, estudios futuros, deberían de examinar la fiabilidad y validez del método de 2 puntos en otros ejercicios de entrenamiento de fuerza. Del mismo modo, los estudios futuros deben determinar qué características deben tener las 2 cargas utilizadas para maximizar la precisión en la estimación de la 1RM en diferentes ejercicios.

9. Referencias.

- Balsalobre-Fernández, C., Kuzdub, M., Poveda-Ortiz, P., & Campo-Vecino, J. del. (2016). Validity and Reliability of the PUSH Wearable Device to Measure Movement Velocity During the Back Squat Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1968–1974. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001284>
- Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., Muñoz-López, M., & Jiménez, S. L. (2017). Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *Journal of Sports Sciences*, 1–7. <http://doi.org/10.1080/02640414.2017.1280610>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., & Haff, G. G. (2017). Reliability and Validity of the Load–Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1897–1904. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001657>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., Sato, K., & Haff, G. G. (2017). Validity of Various Methods for Determining Velocity, Force and Power in the Back Squat. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–25. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0627>
- Bazuelo-Ruiz, B., Padial, P., García-Ramos, A., Morales-Artacho, A. J., Miranda, M. T., & Feriche, B. (2015). Predicting maximal dynamic strength from the load-velocity relationship in squat exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1999–2005. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000821>
- Bosco, C. (2000). *La fuerza muscular: aspectos metodológicos*. INDE. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=152682>
- Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V., & Luhtanen, P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114(4), 557–565. <http://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1982.tb07024.x>
- Brzycki, M. (1993). Strength testing-predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *JOPERD-The Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 64(1), 88–90. <http://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>
- Castillo, F., Valverde, T., Morales, A., Pérez-Guerra, A., de León, F., & García-Manso, J. M. (2012). Maximum power, optimal load and optimal power spectrum for power training in upper-body (bench press): a review. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 5(1), 18–27. [http://doi.org/10.1016/S1888-7546\(12\)70005-9](http://doi.org/10.1016/S1888-7546(12)70005-9)
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J. J., & Jimenez-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of Sports Sciences*, 34(12), 1099–1106. <http://doi.org/10.1080/02640414.2015.1090010>

- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8), 1582–1598. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d2013a>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146. <http://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Magnitude and decay of stretch-induced enhancement of power output. *European Journal of Applied Physiology*, 84(6), 575–581. <http://doi.org/10.1007/s004210100433>
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2003). Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 148–155. [http://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0148:FVAOST>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0148:FVAOST>2.0.CO;2)
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1703–1714. <http://doi.org/10.1007/s00421-014-2901-2>
- Frost, D. M., Cronin, J. B., & Newton, R. U. (2008). Have we underestimated the kinematic and kinetic benefits of non-ballistic motion? *Sports Biomechanics*, 7(3), 372–385. <http://doi.org/10.1080/14763140802273005>
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*, 34(10), 663–679. <http://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00004>
- Fulton, S. K., Pyne, D. B., Hopkins, W. G., & Burkett, B. (2009). Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 27(5), 535–539. <http://doi.org/10.1080/02640410802641418>
- García-Ramos, A., Haff, G. G., Padial, P., & Feriche, B. (2016). Optimal load for maximizing upper-body power: test-retest reliability. *Isokinetics and Exercise Science*, 24(2), 115–124. <http://doi.org/10.3233/IES-150608>
- García-Ramos, A., Haff, G. G., Padial, P., & Feriche, B. (2018). Reliability of power and velocity variables collected during the traditional and ballistic bench press exercise. *Sports Biomechanics*, 17(1), 117–130. <http://doi.org/10.1080/14763141.2016.1260767>
- García-Ramos, A., & Jaric, S. (2018). Two-Point Method: A quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the one-repetition maximum. *Strength and Conditioning Journal*, 40(2), 54–66. <http://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000359>
- García-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P., & Feriche, B. (2016). Force-velocity relationship of upper-body muscles: traditional vs. ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2), 178–185. <http://doi.org/10.1123/jab.2015-0162>

- García-Ramos, A., Padial, P., García-Ramos, M., Conde-Pipó, J., Argüelles-Cienfuegos, J., Štirn, I., & Feriche, B. (2015). Reliability analysis of traditional and ballistic bench press exercises at different loads. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 51–59. <http://doi.org/10.1515/hukin-2015-0061>
- García-Ramos, A., Padial, P., Haff, G. G., Argüelles-Cienfuegos, J., García-Ramos, M., Conde-Pipó, J., & Feriche, B. (2015). Effect of Different Interrepetition Rest Periods on Barbell Velocity Loss During the Ballistic Bench Press Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2388–2396. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000891>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Gregory Haff, G. (2018). Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1273–1279. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001998>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F., Pérez-Castilla, A., Rojas, F., & Haff, G. (2018). Differences in the load-velocity profile between four bench press variants. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 13(3):326-331. <http://doi:10.1123/ijsp.2017-0158>.
- García-Ramos, A., Tomazin, K., Feriche, B., Strojnik, V., de la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., Strumbelj, B., Štirn, I. (2016). The relationship between the lower-body muscular profile and swimming start performance. *Journal of Human Kinetics*, 50(1), 157–165. <http://doi.org/10.1515/hukin-2015-0152>
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2016). Optimal Balance between Force and Velocity Differs among World-Class Athletes. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(1), 59–68. <http://doi.org/10.1123/jab.2015-0070>
- González-Badillo, J. J., Marques, M. C., & Sánchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Journal of Human Kinetics*. misc. <http://doi.org/10.2478/v10078-011-0053-6>
- González-Badillo, J. J., & Ribas, J. (2002). *Programación del Entrenamiento de Fuerza*. Barcelona: Inde.
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <http://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Häkkinen, A., Sokka, T., Kotaniemi, A., Hannonen, P. (2001). A randomized two-year study of the effects of dynamic strength training on muscle strength, disease activity, functional capacity, and bone mineral density in early rheumatoid arthritis. *Arthritis and Rheumatism*, 44(3), 515–522. [http://doi.org/10.1002/1529-0131\(200103\)44:3<515::AID-ANR98>3.0.CO;2-5](http://doi.org/10.1002/1529-0131(200103)44:3<515::AID-ANR98>3.0.CO;2-5)
- Harris, N. K., Cronin, J., Taylor, K.-L., Boris, J., & Sheppard, J. (2010). Understanding Position Transducer Technology for Strength and Conditioning Practitioners. *Strength and Conditioning Journal*, 32(4), 66–79. <http://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181eb341b>

- Helms, E. R., Storey, A., Cross, M. R., Brown, S. R., Lenetsky, S., Ramsay, H., Dillen, C., Zourdos, M. C. (2016). RPE and Velocity Relationships for the Back Squat, Bench Press, and Deadlift in Powerlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001517>
- Hopkins, W. (2000). Calculations for reliability (Excel spreadsheet). A new view of statistics. Retrieved March 15, 2016, from <http://www.sportsci.org/resource/stats/relycalc.html#excel>
- Hopkins, W. (2000b). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1–15. <http://doi.org/10.2165/00007256-200030050-00006>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Izquierdo, M. (2007). *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte*. Madrid: Editorial Panamericana.
- Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *International Journal of Sports Medicine*, 36(09), 699–704. <http://doi.org/10.1055/s-0035-1547283>
- Jaric, S. (2016). Two-Load Method for Distinguishing Between Muscle Force, Velocity, and Power-Producing Capacities. *Sports Medicine*, 46(11), 1585–1589. <http://doi.org/10.1007/s40279-016-0531-z>
- Jaric, S., & Garcia-Ramos, A. (2018). Letter to the editor concerning the article “Bar velocities capable of optimising the muscle power in strength-power exercises” by Loturco, Pereira, Abad, Tabares, Moraes, Kobal, Kitamura & Nakamura (2017). *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 994–996. <http://doi.org/10.1080/02640414.2017.1348015>
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J.-M., & Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 267–270. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 677. <http://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
- Jovanovic, M., & Flanagan, E. P. (2014). Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond*, 22(2), 58–69. <http://doi.org/10.1071/PP97167>
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197–206. [http://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00064-6](http://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00064-6)
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674–688. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61>

- Lake, J., Lauder, M., Smith, N., & Shorter, K. (2012). A comparison of ballistic and nonballistic lower-body resistance exercise and the methods used to identify their positive lifting phases. *Journal of Applied Biomechanics*, 28(4), 431–437. <http://doi.org/10.1123/jab.28.4.431>
- Lander, J. (1984). Maximum based on reps. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 6, 60–61.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198 (2001). <http://doi.org/10.1119/1.1397460>
- Loturco, I., Kobal, R., Moraes, J. E., Kitamura, K., Cal Abad, C. C., Pereira, L. A., & Nakamura, F. Y. (2017). Predicting the Maximum Dynamic Strength in Bench Press: the high-precision of the bar velocity approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1127–1131. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001670>
- Loturco, I., Pereira, L. A., Abad, C. C., Tabares, F., Moraes, J. E., Kobal, R., Kitamura, K., & Nakamura, F. Y. (2017). Bar velocities capable of optimising the muscle power in strength-power exercises. *Journal of Sports Sciences*, 35(8), 734–741. <http://doi.org/10.1080/02640414.2016.1186813>
- Loturco, I., Suchomel, T., Kobal, R., Arruda, A. F. S., Guerriero, A., Pereira, L. A., & Pai, C. N. (2018). Force-Velocity Relationship in three Different Variations of Prone Row Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, [Epub ahead of print]. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002543>
- Mann, J. B., Ivey, P. A., & Sayers, S. P. (2015). Velocity-Based Training in Football. *Strength and Conditioning Journal*, 37(6), 52–57. <http://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000177>
- Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 349–55. <http://doi.org/10.1136/bjism.2007.035113>
- Mayhew, J. L., Ball, T. E., Arnold, M. D., & Bowen, J. C. (1992). Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *Journal of Applied Sport Science Research*. 6(4), 200-206.
- Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., Chicharro, J. L., & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load-, Force-, and Power-Velocity Relationships in the Prone Pull-Up Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1249-1255. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0657>
- Nascimento, M. A. do, Cyrino, E. S., Nakamura, F. Y., Romanzini, M., Pianca, H. J. C., & Queiróga, M. R. (2007). Validation of the Brzycki equation for the estimation of 1-RM in the bench press. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 13(1), 47–50. <http://doi.org/10.1590/S1517-86922007000100011>
- Newton, R., Murphy, A., Humphries, B., Wilson, G., Kraemer, W., & Häkkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of*

Applied Physiology and Occupational Physiology, 75(4), 333–342.
<http://doi.org/10.1007/s004210050169>

- Newton, R. U., Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Humphries, B. J., & Murphy, a. J. (1996). Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech*, 12(1), 37–43.
- Newton, R. U., Murphy, A. J., Humphries, B. J., Wilson, G. J., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of Applied Physiology*, 75(4), 333–342. <http://doi.org/10.1007/s004210050169>
- Pallarés, J. G., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., De La Cruz-Sánchez, E., & Mora-Rodriguez, R. (2014). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1165–1175. <http://doi.org/10.1080/02640414.2014.889844>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J.M., Morales-Álamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J.A.L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 724–735. <http://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Pérez-Castilla, A., Comfort, P., McMahon, J. J., Pestaña-Melero, F. L., & García-Ramos, A. (2018). Comparison of the Force-, Velocity- and Power-Time Curves Between the Concentric-Only and Eccentric-Concentric Bench Press Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, [Epub ahead of print]. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002448>
- Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padiá, P., & García-Ramos, A. (2017). Evaluation of Muscle Mechanical Capacities through the Two-load Method: Optimization of the load selection. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1245-1253. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001969>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1258–1265. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003118>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Garrido-Blanca, G., Delgado-García, G., Balsalobre-Fernández, C., & García-Ramos, A. (2019). Precision of 7 Commercially Available Devices for Predicting the Bench Press 1-Repetition Maximum From the Individual Load-Velocity Relationship. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–13. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0801>
- Pérez-Castilla, A., Suzovic, D., Domanovic, A., Fernandes, J. F. T., & García-Ramos, A. (2019). Validity of Different Velocity-Based Methods and Repetitions-to-Failure Equations for Predicting the 1 Repetition Maximum During 2 Upper-Body Pulling

- Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003076>
- Picerno, P. (2017). Good practice rules for the assessment of the force-velocity relationship in isoinertial resistance exercises. *Asian Journal of Sports Medicine*, 8(3):e15590. <http://doi.org/10.5812/asjasm.15590>.
- Picerno, P., Iannetta, D., Comotto, S., Donati, M., Pecoraro, F., Zok, M., Tollis, G., Figura, M., Varalda, C., Di Muzio, D., Patrizio, F., Piacentini, M. F. (2016). 1RM prediction: a novel methodology based on the force-velocity and load-velocity relationships. *European Journal of Applied Physiology*, 116(10), 2035–2043. <http://doi.org/10.1007/s00421-016-3457-0>
- Randell, A. D., Cronin, J. B., Keogh, J. W. L., Gill, N. D., & Pedersen, M. C. (2011). Effect of Instantaneous Performance Feedback During 6 Weeks of Velocity-Based Resistance Training on Sport-Specific Performance Tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 87–93. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fee634>
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housch, T. J., Kibler, W. B., Kraemer, W. J., & Triplett, N. T. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687–708. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Reynolds, J. M., Gordon, T. J., & Robergs, R. a. (2006). Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 584–592. <http://doi.org/10.1519/R-15304.1>
- Ruiz, J., Sui, X., Lobelo, F., Morrow Jr., J. R., Jackson, A. W., Sjostrom, M., & Blair, S. N. (2008). Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ*, 12:337(7661): 92-95. <http://doi.org/10.1136/bmj.a439>
- Sáez de Villarreal, E., Requena, B., & Cronin, J. B. (2012). The effects of plyometric training on sprint performance: a meta analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 575–584. <http://doi.org/10.1136/bmj.a439>
- Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of Movement Velocity on the Relationship Between Training Load and the Number of Repetitions of Bench Press. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 523. <http://doi.org/10.1519/16794.1>
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J.-B. (2014). Force-Velocity Profile: Imbalance Determination and Effect on Lower Limb Ballistic Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(06), 505–510. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1354382>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725–1734. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>

- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J., Pérez, C., & Pallarés, J. (2014). Velocity- and Power-Load Relationships of the Bench Pull vs. Bench Press Exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(03), 209–216. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1351252>
- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 123–129. <http://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>
- Sánchez-Moreno, M., Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Movement Velocity as Indicator of Relative Intensity and Level of Effort Attained During the Set in Pull-Up Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1378–1384. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0791>
- Soriano, M. A., Jimenez-Reyes, P., Rhea, M. R., & Marin, P. J. (2015). The optimal load for maximal power production during lower-body resistance exercises: A meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(8), 1191–1205. <http://doi.org/10.1007/s40279-015-0341-8>
- Spiering, B., Kraemer, W., Anderson, J., Armstrong, L., Nindl, B., Volek, J., & Maresh, C. (2008). Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Medicine*, 38(7), 527–540. <http://doi.org/10.2165/00007256-200838070-00001>
- Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., & Jaric, S. (2015a). Evaluation of force–velocity and power–velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1779–1787. <http://doi.org/10.1007/s00421-015-3165-1>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449. <http://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2010). The “sticking period” in a maximum bench press. *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 529–535. <http://doi.org/10.1080/02640411003628022>
- Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 231–240. <http://doi.org/10.1519/15184.1>
- Wilson, G. J., Elliott, B. C., & Wood, G. A. (1991). The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(3), 364–70. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2020276>
- Wood, T. M., Maddalozzo, G. F., & Harter, R. A. (2002). Accuracy of Seven Equations for Predicting 1-RM Performance of Apparently Healthy, Sedentary Older Adults. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 6(2), 67–94. http://doi.org/10.1207/S15327841MPPE0602_1
- Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017). A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional

movement tasks. *Journal of Sports Sciences*, 35(13), 1287–1293.
<http://doi.org/10.1080/02640414.2016.1221521>

10. Relación de tablas y figuras.

Relación de tablas.

Tabla 1. Resumen de las principales características metodológicas de los estudios incluidos en la presente tesis doctoral.

Tabla 2. Comparación de las variables mecánicas obtenidas desde los diferentes ejercicios y técnicas de ejecución.

Tabla 3. Comparación de la velocidad media ($m \cdot s^{-1}$) obtenida con cada carga relativa (% 1RM) entre las cuatro modalidades del ejercicio de press de banca.

Tabla 4. Correlaciones entre la velocidad media medida en las cuatro modalidades de press de banca.

Tabla 5. ANOVAs de medidas repetidas realizado con los coeficientes de variación individuales en cada carga relativa (%1RM).

Tabla 6. Comparación del CV intra-sujetos en cada carga relativa (%1RM) entre las modalidades de press de banca tradicional y los modelos de regresión.

Tabla 7. Coeficientes de correlación intraclase obtenido para cada carga relativa por cada modalidad de press banca evaluada y por cada modelo de regresión usado.

Tabla 8. Valores de velocidad media (VM), velocidad media propulsiva (VMP), y velocidad máxima (Vmax) asociados a cada carga relativa (%1RM) para el press de banca lanzado solo-concéntrico y con CEA.

Tabla 9. Comparación entre el coeficiente de variación (CV) con un intervalo de confianza del 95% para cada carga relativa (%1RM) entre las diferentes variables de la velocidad en el ejercicio de press de banca lanzado solo-concéntrico.

Tabla 10. Comparación entre el coeficiente de variación (CV) con un intervalo de confianza del 95% en cada carga relativa (%1RM) entre las diferentes variables de la velocidad en el ejercicio de press de banca lanzado con CEA.

Tabla 11. Comparación de las cargas absolutas y relativas y su valor de velocidad asociada para cada variable de velocidad (VM y VMP) y modalidad de press de banca (solo-concéntrico y con CEA).

Tabla 12. Comparación de la fiabilidad de los valores de 1RM entre los diferentes métodos para cada modalidad de press de banca evaluada.

Relación de figuras

Figura 1. Sujeto realizando una ejecución de press de banca a máxima velocidad.

Figura 2. Máquina Smith y transductor lineal de velocidad utilizados en las mediciones.

Figura 3. Relaciones carga-velocidad de un sujeto representativo en el press de banca tradicional solo-concéntrico y con CEA. Las relaciones obtenidas de la VM y de la VMP considerando todos los puntos (método de puntos múltiples) y solo las dos cargas con las velocidades cercanas a 1.0 y $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (método de 2 puntos) son representadas. Los valores de 1RM obtenidos por los diferentes métodos son mostrados.

Figura 4. Diferencias estandarizadas (intervalo de confianza del 90%) entre el Press de banca tradicional y Press de banca lanzado obtenidas a través de ambas técnicas de ejecución (solo-concéntrico y con CEA).

Figura 5. Promedio de los valores de fuerza, velocidad y potencia normalizados por la duración de la fase concéntrica en el ejercicio de press de banca tradicional y lanzado para ambas técnicas de ejecución.

Figura 6. Curvas de tiempo-potencia obtenida de un sujeto representativo durante el ejercicio de Press de banca tradicional y de Press de banca lanzado con la técnica de ejecución CEA.

Figura 7. Relación entre la carga relativa (% 1RM) y la velocidad media (VM) en el press de banca tradicional solo-concéntrico, en el press de banca lanzado solo-concéntrico, en el press de banca tradicional con CEA, y en el press de banca lanzado con CEA.

Figura 8. Relación entre la carga relativa (%1RM) y la VM en el press de banca tradicional solo-concéntrico y el press de banca tradicional con CEA observada en la primera y la segunda sesión de evaluación. La regresión lineal y polinomial son representadas.

Figura 9. Desviación estándar (SD) intra-sujetos, y entre-sujetos de las velocidades medias obtenidas en cada carga relativa (%1RM) en el press de banca tradicional solo-concéntrico y con CEA obtenidos a partir de modelos de regresión lineal y polinomial.

Figura 10. Coeficiente de correlación de Pearson con la Transformación Z de Fisher (medias y barras de error de la SD) obtenidas a partir de las relaciones carga-velocidad en las distintas variables estudiadas.

Figura 11. Relación entre la carga relativa (%1RM) y la velocidad media (VM), velocidad media propulsiva (VMP), velocidad máxima (Vmax) en el press de banca lanzado solo-concéntrico, y con CEA.

Figura 12. Diferencias absolutas entre las 1RM reales y estimadas. El tamaño de efecto Cohen (ES) y el coeficiente de correlación de Pearson (r) se indican para press de banca tradicional solo-concéntrico y para el press de banca tradicional con CEA.

Figura 13. Gráficos de Bland-Altman que muestran las diferencias entre los 1RM reales y estimados desde la VM alta (1,0 VM), baja (0,5 VM) y el método de 2 puntos para el press de banca solo-concéntrico y con CEA.

Figura 14. Gráficos de Bland-Altman que muestran las diferencias entre los 1RM reales y estimados desde la VMP alta (1,0 VMP), baja (0,5 VMP) y el método de 2 puntos para el press de banca solo-concéntrico y con CEA.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y APORTACIONES A CONGRESOS.**Publicaciones científicas derivadas de la presente tesis doctoral.**

Francisco Luis Pestaña-Melero, Slobodan Jaric, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, and Amador García-Ramos. Comparison of Mechanical Outputs Between the Traditional and Ballistic Bench Press: Role of the Type of Variable. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print]

Amador García-Ramos, **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas and Guy Gregory Haff. Differences in the Load-Velocity Profile Between 4 Bench-Press Variants. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018; 13(3): 326-331

Francisco Luis Pestaña-Melero, Guy Gregory Haff, Francisco Javier Rojas, Alejandro Pérez-Castilla, Amador García-Ramos. Reliability of the Load-Velocity Relationship Obtained Through Linear and Polynomial Regression Models to Predict the 1-Repetition Maximum Load. *Journal of Applied Biomechanics*, 2018; 34(3): 184-190.

Amador García-Ramos, **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, Guy Gregory Haff. Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018; 32(5): 1273-1279.

Amador García-Ramos, Guy Gregory Haff, **Francisco Luis Pestaña-Melero**, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, Carlos Balsalobre-Fernández, Slobodan Jaric. Feasibility of the 2-Point Method for Determining the 1-Repetition Maximum in the Bench Press Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018; 13(4): 474-481.

Otras publicaciones científicas.

De la Cruz-Campos, A., **Pestaña-Melero, F. L.**, Rico-Castro, N., De la Cruz-Campos, J. C., Cueto-Martín, M. B., Carmona-Ruiz, G., & De la Cruz-Márquez, J. C. (2016). Analysis of anaerobic performance and the Body Mass Index measure of adolescents from different areas of Andalusian region (Spain). *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*. <http://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.09.004>

Gallo-Vallejo, M. Á., de la Cruz-Márquez, J. C., de la Cruz-Campos, A., de la Cruz-Campos, J. C., **Pestaña-Melero, F. L.**, Carmona-Ruiz, G., & Gallo-Galán, L. M. (2017). Sports injuries and illnesses during the Granada Winter Universiade 2015. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 2(1), e000123. <http://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000123>

Pérez-Castilla, A., Comfort, P., McMahon, J. J., **Pestaña-Melero, F. L.**, & García-Ramos, A. (2018). Comparison of the force-, velocity- and power-time curves between the concentric-only and eccentric-concentric bench press exercises. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print]

Aportaciones a Congresos

Pestaña-Melero, F.L., Rojas, F.J., Pérez-Castilla, A., & García-Ramos, A. (2017). Determinación de la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca mediante modelos de regresión lineal y polinomial. Book of Abstracts of the X Simposio Internacional de Actualizaciones de Entrenamiento de Fuerza. 15-16 Diciembre, Madrid-España. 179-180. ISBN 978- 84- 697- 8122- 7.

García-Ramos, A., Zivkovic, M., Pérez-Castilla, A., Mirkov, D.M., Knezevic, O.M., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Cuk, I., Feriche, B., Padial, P., Morales-Artacho, A.J., **Pestaña-Melero, F.L.**, & Jacir, S. (2017). Optimization of the reliability of the force-velocity relationship: what is more important the number or the distance between experimental points? Book of Abstracts of the X Simposio Internacional de Actualizaciones de Entrenamiento de Fuerza. 15-16 Diciembre, Madrid-España. 93-95. ISBN 978- 84- 697- 8122- 7.

Pestaña-Melero, F.L., De la Cruz-Campos, A., Rico-Castro, N., Cueto-Martín, B., De la Cruz-Campos, J.C., Carmona-Ruiz, G., & De la Cruz-Márquez, J.C. (2015). Utilidad del test de saltos continuos CMJ para la evaluación del rendimiento anaeróbico en adolescentes. Libro de trabajos científicos del III Congreso Internacional de Educación a través del Deporte, 18-20 Noviembre, Jaén-España. Educar a través del deporte: mito o realidad. Edita: Asociación Didáctica de Andalucía. ISBN 978-84-939364-8-8.

12. Apéndices.

12.1 Consentimiento informado.

DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL PARTICIPANTE

Título del estudio: INFLUENCIA DE LA MODALIDAD DE PRESS DE BANCA EN LA RELACIÓN CARGA-VELOCIDAD

Yo, (nombre y apellidos)

con D.N.I. nº.....

He hablado con el profesional responsable del estudio titulado Influencia de la modalidad de press de banca en la relación carga-velocidad.

He leído la hoja de información que se me ha entregado.

He podido hacer preguntas sobre el estudio.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

1. Cuando quiera.
2. Sin tener que dar explicaciones.
3. Sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Las muestras obtenidas en este estudio sólo serán utilizadas para los fines específicos del mismo.

Fecha

Firma del paciente o participante

Fecha

Firma del profesional responsable del estudio.

Dr. Francisco Javier Rojas Ruiz

Dr. Amador García Ramos

Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Granada

12.2 Publicaciones científicas derivadas de la tesis doctoral.

ESTUDIO I. VERSIÓN EN INGLÉS.

Francisco Luis Pestaña-Melero, Slobodan Jaric, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, and Amador García-Ramos. Comparison of Mechanical Outputs Between the Traditional and Ballistic Bench Press: Role of the Type of Variable. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Epub ahead of print].

doi: 10.1519/JSC.0000000000002671

Comparison of mechanical outputs between the traditional and ballistic bench press: role of the type of variable

ABSTRACT

This study aimed to comprehensively explore the differences in mechanical outputs between the bench press (BP) and the bench press throw (BPT) exercises performed by 21 men (age: 22.0 ± 4.2 years, body mass: 73.4 ± 7.7 kg, height: 177.2 ± 8.0 cm, concentric-only BP 1-repetition maximum: 81.3 ± 6.8 kg) against a fixed external load of 27 kg using both the concentric-only and eccentric-concentric execution techniques. The types of variables collected by means of a linear velocity transducer were the traditional mean values (i.e., from the first positive velocity until the barbell reaches maximum height), mean propulsive values (i.e., from the first positive velocity until the barbell acceleration become lower than gravity), mean values of the acceleration phase (i.e., from the first positive velocity until the barbell acceleration become negative), and maximum values (i.e., the highest instantaneous value of the concentric phase) of force, velocity and power. The magnitude of the effect sizes (the negative sign indicates a higher value for the BP as compared to the BPT) ranged from -0.10 to -2.19 for force, 0.28 to 1.30 for velocity, and -0.73 to 0.67 for power variables, remaining mainly similar for the concentric-only and eccentric-concentric execution techniques. These results highlight that the comparison of force, velocity, and power outputs between the BP and BPT exercises is largely affected by the type of variable considered. The shortcomings of linear position transducers in accurately determining the end point of the concentric phase suggest that the maximum values, particularly the maximum velocity,

should be reported to assess ballistic performance.

Keywords: force, velocity, power, linear position transducer.

INTRODUCTION

A number of studies have been conducted to compare the force, velocity, and power outputs between traditional resistance training exercises (e.g., squat or bench press [BP]) and their ballistic variants (such as the jump squat and bench press throw [BPT], respectively) (Cronin, McNair, & Marshall, 2003; Frost et al., 2008; Lake et al., 2012; I Loturco et al., 2017; R U Newton et al., 1996). Since the studies of Newton and co-workers (Newton et al., 1996; Newton et al., 1997), it has been generally accepted that ballistic exercises enable the generation of more force, velocity, and power, as well as muscle activation compared to similar traditional resistance training exercises. These findings have motivated coaches and researchers to recommend the use of ballistic rather than traditional exercise in power-oriented resistance training programs (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011). However, some recent studies have questioned the discussed advantages of ballistic over the non-ballistic (i.e., the traditional) exercises (Cronin et al., 2003; Lake et al., 2012; Loturco et al., 2017). Interestingly, these apparently contradictory findings have been frequently observed when comparing the traditional BP against the ballistic BPT tested by means of linear position transducers (Cronin et al., 2003; Loturco et al., 2017).

Cronin and co-workers (Cronin et al., 2003) revealed no difference in force output between the BP and the BPT when performed against the same load, while the velocity output was higher for the BPT. Some authors reported higher power output for the BP as compared to the BPT (Loturco et al., 2017), while others questioned the superiority of ballistic jump squat over traditional back squats for power development (Lake et al., 2012). It is possible that these discrepancies originated either from the limitations of linear position transducers to quantify the mechanical outputs during ballistic exercises (Jaric & Garcia-Ramos, 2017) or from the procedure used to determine the concentric phase (Frost et al., 2008; Lake et al., 2012). Therefore, there is an apparent need to conduct a comprehensive analysis of the differences in force, velocity, and power outputs between the traditional BP and the ballistic BPT recorded by a linear position transducer.

Linear position transducers have been increasingly used as a cheap and practical tool for monitoring the effects of various resistance training programs through the measurement of either the mean or the maximum values of the mechanical outputs (Harris et al., 2010; Jovanovic & Flanagan, 2014). It should be noted that the following three types of mean variables have been commonly reported in the literature based on the criterion used to determine the end of the concentric phase: (i) *traditional mean values* (i.e., from the first positive velocity until the barbell reaches maximum height), (ii) *mean*

propulsive values (i.e., from the first positive velocity until the barbell acceleration become lower than gravity [$-9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$]), and (iii) *mean values of the acceleration phase* (i.e., from the first positive velocity until the barbell acceleration become negative). In this regard, traditional mean values (Cronin et al., 2003), mean propulsive values (Loturco et al., 2017), mean accelerative values (Lake et al., 2012), and maximum values (García-Ramos et al., 2015) have been all used to compare the mechanical outputs between the BP and the BPT exercises. Therefore, to evaluate the differences of outcomes between the BP and BPT exercises the discussed variables need to be obtained from a single study.

The present study was designed to comprehensively explore the differences in force, velocity, and power outputs between the traditional BP and the ballistic BPT. Specifically, we aimed (i) to analyze the effects of the variable type on the differences between the BP and BPT, and (ii) to elucidate whether the differences could depend upon the execution technique concentric-only (C-O) vs. eccentric-concentric (E-C). Note that both C-O and E-C execution techniques are commonly used and generally provide different outcomes since the eccentric phase is known to enhance the force production at the beginning of the concentric phase (Cuk et al., 2014; Newton et al., 1997; Pérez-Castilla, Comfort, McMahon, Pestaña-Melero, & García-Ramos, 2018), but it remains unknown whether the differences between the BP and BPT could be affected by the execution technique. Our general hypothesis was that the BPT exercise and the E-C execution technique would provide higher values of force, velocity, and power than the BP exercise and the C-O execution technique, respectively. However, we also specifically hypothesized that (i) the magnitude of the differences between the BP and BPT exercises would depend upon the type of variable, (ii) but not of the execution technique since the stretch-shortening cycle mainly influences the initial concentric phase that is taken into account by all variable types.

METHOD

Experimental approach to the problem

A counterbalanced crossover design was used to compare BP and BPT performance through the assessment of different variables typically collected by linear position transducers. Following two familiarization sessions with the purpose of ensuring a proper technique in all exercises, subjects attended the laboratory on two occasions separated by 48-72 hours. The 1-repetition maximum (1RM) in the C-O BP was determined in the first testing session. In the second session, subjects performed 4 sets of 3 repetitions against an external load of 27 kg (corresponding to $33.4 \pm 2.8\%$ 1RM) during the following exercises: (i) C-O BP, (ii) C-O BPT, (iii) E-C BP, and (iv) E-C BPT. The same loading condition was used for all subjects to resolve a typical problem associated with the use of mean force values (see Discussion for details).

Subjects

Twenty-one healthy males volunteered to participate in this study (mean \pm standard deviation [SD]: age: 22.0 ± 4.2 years, body mass: 73.4 ± 7.7 kg, height: 177.2 ± 8.0 cm). The 1RM in the C-O BP exercise was 81.3 ± 6.8 kg (range: 71-95 kg) (1.12 ± 0.12 kg·kg body mass⁻¹). Selection criteria included (i) having at least 1 year of experience in BP exercise, (ii) C-O BP 1RM being between 70 and 100 kg to ensure that the tested load (i.e., 27 kg) represented a similar %1RM for all subjects, and (iii) being free from health problems or recent musculoskeletal injuries that could compromise the tested performance. Subjects were informed of the procedures to be utilized and signed a written informed consent form prior to initiating the study. The study protocol adhered to the tenets of the Declaration of Helsinki and was approved by the Institutional Review Board.

Testing procedures

The standard five-point body contact position technique (head, upper back, and buttocks firmly on the bench with both feet flat on the floor) was followed in all testing sessions. Subjects self-selected the grip width, which was measured and kept constant on every lift. Two trained spotters were present at both sides of the Smith machine to ensure safety and to encourage the subjects to perform the tasks at the maximum possible velocity.

An incremental loading test was used to determine the 1RM in the C-O BP exercise (García-Ramos, Padial, Haff, et al., 2015). The warm-up consisted of jogging, dynamic stretching, joint mobility exercises, and two sets of five repetitions performed against external loads of 20 and 30 kg. Thereafter, the external load was incremented from 10 to 1 kg until the 1RM load was reached. The inter-set rest was set to 4 min and 1-2 repetitions were performed with each load. An average of 5.8 ± 2.1 sets were needed to reach the 1RM load.

The warm-up of the second testing session consisted of jogging, dynamic stretching, joint mobility exercises, followed by 2 sets of 6 repetitions against an external load of 27 kg. One warm-up set was performed using the C-O technique and another with the E-C technique, while half of the repetitions of each set were performed with the BP exercise and the other half of the repetitions with the BPT exercise. Once the warm-up was completed, subjects performed 3 repetitions under four different exercise conditions (C-O BP; C-O BPT; E-C BP; E-C BPT) against an external load of 27 kg using 2 execution techniques (C-O and E-C). The order of the four different exercises was counterbalanced. Inter-repetition rest was 10 s and the inter-set rest was 4 min. The characteristics of the 4 exercises were as follow:

- *Concentric-only bench press (C-O BP)*: The mechanical brake of the Smith machine was used to hold the barbell parallel to the subjects' nipples just above (\approx 1-2 cm) their sternum. From the initial

position, subjects lifted the barbell as fast as possible until their elbows reached full extension. The hands of the subjects were in contact with the barbell through the whole movement.

- *Concentric-only bench press throw (C-O BPT)*: The execution technique was identical to the C-O BP, with the only difference that subjects were instructed to throw the barbell as high as possible. Two trained spotters were responsible for catching the barbell during its downward movement.

- *Eccentric-concentric bench press (E-C BP)*: Subjects initiated the task holding the barbell with their elbows fully extended. From this position, they were instructed to perform the downward and upward phases of the lifting as fast as possible. The barbell was lowered until contacting the subjects' chest at the level of the sternum and the concentric action ended when the subjects' elbows reached full extension. The hands of the subjects were in contact with the barbell through the whole movement. A skilled investigator ensured that the barbell contacted with the subjects' chest, parallel to the nipples, prior to the initiation of the concentric phase. If these conditions were not met, the trial was repeated.

- *Eccentric-concentric bench press throw (E-C BPT)*: The execution technique was identical to the E-C BP, with the only difference that subjects were instructed to throw the barbell as high as possible. Two trained spotters were responsible for catching the barbell during its downward movement. Furthermore, the barbell was prevented from contacting the participant due to the safety bars of the Smith machine

Measurement equipment and data analysis.

Height (Seca 202, Seca Ltd., Hamburg, Germany) and body mass (Tanita BC 418 segmental, Tokyo, Japan) were assessed in the first familiarization session. A Smith machine (Technogym, Barcelona, Spain) coupled with the linear velocity transducer (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain) was used in all testing sessions. The instantaneous barbell's velocity was sampled at a frequency of 1000 Hz and subsequently smoothed with a fourth-order low-pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 10 Hz (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). The derived mechanical variables were calculated from the recorded barbell velocity by the T-Force software as follows: (i) acceleration was obtained as a time derivative of the velocity; (ii) force was calculated as the sum of barbell weight and inertia; and (iii) instantaneous power was calculated as the product of force and barbell velocity. Only the repetition with the highest mean propulsive velocity of each exercise was selected for further analysis (Sanchez-Medina et al., 2010). The following variables were analyzed in the present study:

- *Traditional mean values*: Mean values of force, velocity, and power from the first positive velocity of the barbell (i.e., start of the concentric phase) until the velocity of the barbell was 0 m·s⁻¹ (i.e., when the barbell reached maximum height).

- *Mean propulsive values*: Mean values of force, velocity, and power from the start of the

concentric phase until the acceleration of the barbell was lower than gravity ($-9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

- Mean accelerative values: Mean values of force, velocity, and power from the onset of the concentric phase until the first instant of negative acceleration (i.e., when the barbell reached maximum velocity).

- *Maximum values*: Maximum force, velocity, and power instantaneous values reached during the concentric phase.

- *Force-, velocity-, and power-time curves*: Force, velocity, and power values were normalized with respect to the concentric phase duration (i.e., until the barbell reached maximum height) in 1% intervals (from 0% to 100%). The values of force, velocity, and power attained at the closest time point (1 ms) to each percentage of the concentric phase duration were individually determined for each subject. Afterwards, the ensemble average of the subjects' values at each time point (i.e., at each % of the concentric phase duration) were calculated for each exercise.

Statistical analyses

Data are presented as means \pm SD. A two-way repeated measures ANOVA (exercise type [BP vs. BPT] \times execution technique [C-O vs. E-C]) with Bonferroni post-hoc test was applied to each mechanical variable to assess the differences between exercises and execution techniques. Cohen's *d* effect size (ES) with the corresponding 90% confidence interval was also used to compare the mechanical variables between the BP and BPT exercises separately for the C-O and E-C execution techniques. The scale used for interpretation the magnitude of the ES was as follows: negligible (<0.2), small ($0.2-0.5$), moderate ($0.5-0.8$), and large (≥ 0.8) (Cohen, 1988). Statistical significance was accepted at $P < 0.05$. The SPSS software package (version 22.0: SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) was used for the ANOVAs, while the ES were calculated by means of a custom Excel spreadsheet.

RESULTS

The main effects of the ANOVAs revealed that the mechanical variables generally differed between the BP and BPT exercises as well as between the C-O and E-C execution techniques, but most of the interactions of the ANOVAs did not reach statistical significance (Table 1). Although the magnitude of the differences between the BP and BPT exercises were strongly dependent on the type of variable considered, in general velocity and power outputs tended to be higher for the BPT, while the force output did not differ between the BP and BPT exercise or even was lower for the BPT. The E-C technique was associated with higher mechanical outputs than the C-O technique in all variables except the maximum values of velocity and power. Finally, the differences between the BP and BPT were similar for the C-O and E-C techniques. The only two significant interactions of the ANOVAs

were observed for the mean values of velocity and power where higher differences in favor of the BPT were obtained from the C-O than the E-C technique.

****Table 1 near here****

The magnitude of the ES between the BP and BPT (Figure 1) confirmed the results of statistical testing shown in Table 1. Although force variables were higher in the BP, power variables were moderately higher in the BPT due to a higher velocity. Note also that while the magnitude of the differences for a given mechanical output (e.g., force) was strongly affected by the type of variable, trivial differences for a same variable were observed between the C-O and E-C execution techniques.

****Figure 1 near here****

Figure 2 presents the representative time series of the force, velocity, and power outputs that could explain some of the differences observed between the exercises and their execution techniques. During the BPT there was a considerable part of the concentric phase in which the values of force and power are only slightly higher than 0 (note that the barbell should have lost contact with the hands in this period of time). The inclusion of a substantial time interval with almost zero force and power magnitudes should be responsible for the lower mean propulsive values of force and power in the BPT as compared to the BP. Finally, the concentric phase duration was higher for the BPT (C-O BPT: 626 ± 32 ms; E-C BPT: 522 ± 22 ms) compared to the BP (C-O BP: 494 ± 29 ms; E-C BP: 397 ± 28 ms). Therefore, although the percentage of the concentric phase in which the force was positive was higher for the BP (Figure 2), the total amount of time in which the force was positive was higher for the BPT.

****Figure 2 near here****

Figure 3 depicts the analysis of the typical power-time curves obtained from a representative subject during the BP and BPT exercises performed with the E-C technique. The first important finding was the 32.4% longer propulsive phase of the BPT (433 ms) as compared to the BP (327 ms). As a consequence, the vertical displacement of the barbell recorded by the linear velocity transducer at the end of the propulsive phase was also higher in the BPT (65.7 cm) compared to the BP (45.8 cm). Interestingly, the total displacement covered by the barbell during the traditional BP was 54.6 cm. Therefore, it is apparent that the mean propulsive values obtained in the present study included a significant part of the barbell's flight time. Note that in the example presented in Figure 3 there was a difference of 11.1 cm ($65.7 \text{ cm} - 54.6 \text{ cm}$) that could be attributable to the inclusion of part of the flight phase during the BPT.

****Figure 3 near here****

DISCUSSION

A comprehensive examination of the differences in force, velocity, and power output between the BP and BPT exercises performed using both C-O and E-C execution techniques was performed in the present study. In line with our general hypothesis, the results support the use of the ballistic BPT over the traditional BP for power development mediated by a higher velocity. Supporting our first specific hypothesis, the results confirmed that the magnitude of the differences between the BP and BPT exercises were affected by the type of variable considered. Our second specific hypothesis was also confirmed since most of the differences between the BP and BPT exercises were not affected by the execution technique (i.e., C-O and E-C).

Regarding the comparison of force output between the BP and BPT exercises, first we have to note that the mean force has to be equal across all trials and subjects, unless the participation of the arms' mass is taken into account. Namely, without the differences in arm mass, all subjects lift the same weight, while the inertial resistance is compensated during the acceleration and deceleration phase (i.e., the analyzed interval begins and ends with velocity = $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). As a result, the miniscule differences (see Table 1) originate exclusively from limited accuracy of the experimental data and, therefore, the mean force should be ruled out as a valid variable when comparing force outputs under present conditions. Regarding the remaining force output variables, the findings suggest either the advantage of the BP (mean propulsive force) or the absence of significant differences between both exercises (mean accelerative force and maximum force). The lower mean propulsive force observed in the BPT was likely caused by a considerable flight time in BPT with almost zero force output included in the computations (Jaric & Garcia-Ramos, 2017). The similar values of mean accelerative force and maximum force are in agreement with previous studies (Lake et al., 2012; Newton et al., 1996). In general, it should be highlighted that none of the force variables analyzed in the present study was able to detect the higher force output that is developed during a BPT in comparison to a BP (Newton et al., 1996).

Based on Newton's mechanics, the change in velocity of a given mass is directly proportional to the applied net force impulse (Linthorne, 2001). This implies that starting from a static position it is not possible to reach a higher velocity against a given mass with a lower force impulse. Therefore, since the velocity output was higher in the BPT as compared to the BP for the four types of variables and two execution techniques, the force impulse should also have been higher for the BPT. The higher velocity observed in the BPT is in agreement with previous studies (García-Ramos et al., 2015; Newton et al., 1996). However, the magnitude of the differences between the BP and BPT exercises also somewhat differs depending on the type of variable considered. Contrary to force and power outputs, the higher differences in velocity in favor of the BPT were observed for the mean propulsive velocity because it includes the initial part of the barbell's flight phase characterized with a high velocity.

Virtually all power variables revealed that the power output was higher in the BPT when compared to the BP. The only exception was the mean propulsive power that was higher in the BP. This finding is in agreement with the results presented by Loturco et al. (2017), but contradicts the results presented by García-Ramos et al. (2018). Interestingly, while in the present study we used the same brand of linear velocity transducer used by Loturco et al. (2017), García-Ramos et al. (2018), used a different linear position transducer (Real Power Pro Globus, Codogne, Italy). Therefore, it remains possible that the mean propulsive values can be significantly affected by the type of linear position transducer utilized. Taking into account the limitation of the mean propulsive power obtained in the present study (i.e., it includes a considerable portion of the barbell's flight time characterized with almost zero power output), the analysis of the other variables seems to confirm the advantage of the BPT over the BP in terms of the generation of power output.

The mechanisms and effects of the stretch-shortening cycle on mechanical outputs has been receiving the scientific attention for decades (Bosco et al., 1982; Newton et al., 1997). Our results speak in favor of the force enhancement by the stretch-shortening cycle particularly during the early phase of the concentric muscle action, while its potentiation effect decreases in the middle-latter part of the concentric phase (see Figure 2) (Cronin, McNair, & Marshall, 2001; Newton et al., 1997; Wilson et al., 1991). As a consequence, in line with the results of previous studies (Cronin et al., 2003; Newton et al., 1997), all mean variables were higher for the E-C technique compared to the C-O technique. However, while the maximum force was also higher for the E-C technique (note that Figure 2 shows that the maximum force output is achieved at the beginning of the concentric phase), no significant differences were observed regarding the maximum velocity and maximum power. Such a result may originate from the fact that the maximum velocity and power were produced in the middle-latter part of the concentric phase. Therefore, both execution techniques could be recommended during resistance training programs since they maximize the force output in different phases of the trials.

The shortcomings of linear position transducers to determine the exact end point of the concentric phase during ballistic exercises compromises the use of mean values (Jaric & Garcia-Ramos, 2017). In this regard, we suggest that the maximum values should be reported when assessing ballistic performance (e.g., jumps, BPT, etc.) by means of a linear position transducer. The maximum velocity, which is directly determined by the force impulse, should be preferred over maximum force and maximum power values. This view could be supported by the results of previous studies that showed that the maximum velocity obtained during a BP and BPT could be more reproducible than maximum power (García-Ramos et al., 2018). In addition, the maximum velocity achieved against a given load could be a better indicator of sport performance than the maximum values of force and power (García-Ramos, Tomazin, et al., 2016). Therefore, the maximum velocity is suggested as the preferred variable to evaluate the performance during resistance training exercises performed under a single loading condition.

The major limitation of the present study was the use of a single magnitude of the external load. Namely, the load magnitude could considerably affect the observed differences between the BP and BPT exercises (Cronin et al., 2003) as well as between the C-O and E-C execution techniques (Newton et al., 1997). Specifically, higher loads most likely reduce the differences between the exercises due to both a less prominent reduction of force close to the end of the BP and less pronounced flight phase in BPT. Higher loads should also reduce the differences observed between the execution techniques because the starting force of the C-O execution technique should be higher and, thus, reduce the advantage of the strength-shortening cycle. However, due to the comprehensive analysis of the type of variables examined, we decided to use only one loading condition to reduce the number of comparisons. The same loading condition was used for all subjects to show how the traditional mean force value only depends on the magnitude of the lifted load. Nevertheless, note that we recruited a relatively homogeneous sample with a low variability of the relative load (i.e., 27 kg represented the $33.4 \pm 2.8\%$ of the subjects' 1RM [range: 28-38% 1RM]).

PRACTICAL APPLICATIONS

Despite some exceptions, our results generally revealed higher mechanical outputs of the BPT as compared to the BP, as well as of the E-C execution technique as compared to the C-O execution technique. However, the magnitude of the differences for the evaluated mechanical output (i.e., force, velocity, and power) were strongly affected by the type of variable considered. The mean propulsive values could be the most questionable variables since they include a part of the barbell's flight time and, therefore, deceive researchers assuming that the end of the propulsive phase identified by a linear position transducer actually correspond to the initiation of the flight phase. Finally, the shortcomings of linear position transducers to determine the exact end point of the concentric phase during ballistic exercises suggest that the maximum values could be preferable to assess ballistic performance. Based on our findings, we recommend the use of maximum velocity to evaluate the performance during resistance training exercises conducted under a single loading condition.

REFERENCES

1. Bosco, C, Viitasalo, J, Komi, P, and Luhtanen, P. Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch- shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 114: 557–565, 1982.
2. Cohen, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. *Stat. Power Anal. Behav. Sci.* 2nd: 567, 1988.
3. Cormie, P, McGuigan, MR, and Newton, RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2 training considerations for improving maximal power production. *Sports*

- Med* 41: 125–146, 2011.
4. Cronin, JB, McNair, PJ, and Marshall, RN. Magnitude and decay of stretch-induced enhancement of power output. *Eur J Appl Physiol* 84: 575–581, 2001.
 5. Cronin, JB, McNair, PJ, and Marshall, RN. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res* 17: 148–155, 2003.
 6. Cuk, I, Markovic, M, Nedeljkovic, A, Ugarkovic, D, Kukolj, M, and Jaric, S. Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *Eur J Appl Physiol* 114: 1703–1714, 2014.
 7. Frost, DM, Cronin, JB, and Newton, RU. Have we underestimated the kinematic and kinetic benefits of non-ballistic motion? *Sport Biomech* 7: 372–85, 2008.
 8. García-Ramos, A, Haff, G, Padial, P, and Feriche, B. Reliability of power and velocity variables collected during the traditional and ballistic bench press exercise. *Sport Biomech* 17: 117–130, 2018.
 9. García-Ramos, A, Padial, P, García-Ramos, M, Conde-Pipó, J, Argüelles-Cienfuegos, J, Štirn, I, et al. Reliability analysis of traditional and ballistic bench press exercises at different loads. *J Hum Kinet* 47: 51–59, 2015.
 10. García-Ramos, A, Padial, P, Haff, GG, Argüelles-Cienfuegos, J, García-Ramos, M, Conde-Pipó, J, et al. Effect of different interrepetition rest periods on barbell velocity loss during the ballistic bench press exercise. *J Strength Cond Res* 29: 2388–2396, 2015.
 11. García-Ramos, A, Tomazin, K, Feriche, B, Strojnik, V, de la Fuente, B, Argüelles-Cienfuegos, J, et al. The relationship between the lower-body muscular profile and swimming start performance. *J Hum Kinet* 50: 157–165, 2016.
 12. Harris, NK, Cronin, J, Taylor, KL, Boris, J, and Sheppard, J. Understanding position transducer technology for strength and conditioning practitioners. *Strength Cond J* 32: 66–79, 2010.
 13. Jaric, S and Garcia Ramos, A. Letter to the editor concerning the article “Bar velocities capable of optimising the muscle power in strength-power exercises” by Loturco, Pereira, Abad, Tabares, Moraes, Kobal, Kitamura & Nakamura (2017). *J Sports Sci*, 2017.
 14. Jovanovic, M and Flanagan, EP. Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond* 22: 58–69, 2014.
 15. Lake, J, Lauder, M, Smith, N, and Shorter, K. A comparison of ballistic and nonballistic lower-body resistance exercise and the methods used to identify their positive lifting phases. *J Appl Biomech* 28: 431–437, 2012.
 16. Linthorne, NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys* 69: 1198–1204, 2001.
 17. Loturco, I, Pereira, LA, Abad, CC, Tabares, F, Moraes, JE, Kobal, R, et al. Bar velocities capable of optimising the muscle power in strength-power exercises. *J Sports Sci* 35: 734–741, 2017.

18. Newton, R, Kraemer, WJ, Hakkinen, K, Humphries, B, and Murphy, AJ. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech* 12: 31–43, 1996.
19. Newton, R, Murphy, A, Humphries, B, Wilson, G, Kraemer, W, and Häkkinen, K. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75: 333–342, 1997.
20. Pérez-Castilla, A, Comfort, P, McMahon, JJ, Pestaña-Melero, FL, and García-Ramos, A. Comparison of the force-, velocity- and power-time curves between the concentric-only and eccentric-concentric bench press exercises. *J Strength Cond Res*, 2018. Epub ahead of print.
21. Sánchez-Medina, L and González-Badillo, JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1725–1734, 2011.
22. Sanchez-Medina, L, Perez, CE, and Gonzalez-Badillo, JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med* 31: 123–129, 2010.
23. Soriano, MA, Suchomel, TJ, and Marín, PJ. The optimal load for maximal power production during upper-body resistance exercises: a meta-analysis. *Sport Med* 47: 757–768, 2017.
24. Wilson, GJ, Elliott, BC, and Wood, GA. The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement. *Med Sci Sports Exerc* 23: 364–370, 1991.

Table 1. Comparison of mechanical variables obtained from different exercises and execution techniques

Variable	C-O BP	C-O BPT	E-C BP	E-C BPT	ANOVA		
					C-O vs. E-C	BP vs. BPT	Interaction
Mean force (N)	265.4 ± 0.7 ^{a,b}	264.6 ± 0.2 ^{b,c}	266.8 ± 1.3 ^c	265.5 ± 0.6	F = 57.0*, $\eta_p^2 = 0.74$	F = 27.0*, $\eta_p^2 = 0.58$	F = 3.1, $\eta_p^2 = 0.14$
Mean propulsive force (N)	401.3 ± 16.9 ^{a,b,c}	357.9 ± 22.3 ^{b,c}	453.2 ± 29.8 ^c	399.4 ± 18.9	F = 137.9*, $\eta_p^2 = 0.87$	F = 144.5*, $\eta_p^2 = 0.88$	F = 2.6, $\eta_p^2 = 0.12$
Mean accelerative force (N)	424.5 ± 18.6 ^{b,c}	420.7 ± 18.6 ^{b,c}	493.7 ± 29.5	486.7 ± 29.2	F = 287.2*, $\eta_p^2 = 0.94$	F = 4.3, $\eta_p^2 = 0.18$	F = 0.4, $\eta_p^2 = 0.02$
Maximum force (N)	535.8 ± 35.1 ^{b,c}	532.4 ± 28.9 ^{b,c}	1043.6 ± 142.0	1008.9 ± 129.6	F = 402.5*, $\eta_p^2 = 0.95$	F = 1.2, $\eta_p^2 = 0.06$	F = 0.7, $\eta_p^2 = 0.04$
Mean velocity (m·s ⁻¹)	1.07 ± 0.09 ^{a,b,c}	1.13 ± 0.08 ^{b,c}	1.35 ± 0.08	1.37 ± 0.07	F = 421.6*, $\eta_p^2 = 0.96$	F = 13.7*, $\eta_p^2 = 0.41$	F = 4.8*, $\eta_p^2 = 0.19$
Mean propulsive velocity (m·s ⁻¹)	1.11 ± 0.09 ^{a,b,c}	1.24 ± 0.11 ^{b,c}	1.52 ± 0.09 ^c	1.63 ± 0.11	F = 553.5*, $\eta_p^2 = 0.97$	F = 84.6*, $\eta_p^2 = 0.81$	F = 1.0, $\eta_p^2 = 0.05$
Mean accelerative velocity (m·s ⁻¹)	1.04 ± 0.09 ^{a,b,c}	1.08 ± 0.09 ^{b,c}	1.46 ± 0.10 ^c	1.52 ± 0.10	F = 634.7*, $\eta_p^2 = 0.97$	F = 20.3*, $\eta_p^2 = 0.50$	F = 0.1, $\eta_p^2 = 0.00$
Maximum velocity (m·s ⁻¹)	2.07 ± 0.15 ^{a,c}	2.17 ± 0.14 ^b	2.09 ± 0.16 ^c	2.21 ± 0.17	F = 3.1, $\eta_p^2 = 0.13$	F = 59.9*, $\eta_p^2 = 0.75$	F = 0.4, $\eta_p^2 = 0.02$
Mean power (W)	283.4 ± 22.7 ^{a,b,c}	298.2 ± 21.7 ^{b,c}	359.4 ± 22.4	364.6 ± 19.5	F = 429.5*, $\eta_p^2 = 0.96$	F = 12.9*, $\eta_p^2 = 0.39$	F = 5.3*, $\eta_p^2 = 0.21$
Mean propulsive power (W)	425.4 ± 45.9 ^{b,c}	404.7 ± 44.7 ^{b,c}	588.0 ± 64.5 ^c	547.9 ± 43.9	F = 305.4*, $\eta_p^2 = 0.94$	F = 20.5*, $\eta_p^2 = 0.51$	F = 3.3, $\eta_p^2 = 0.14$
Mean accelerative power (W)	438.3 ± 48.4 ^{b,c}	455.5 ± 49.8 ^{b,c}	626.6 ± 64.3	647.3 ± 68.7	F = 392.9*, $\eta_p^2 = 0.95$	F = 10.0*, $\eta_p^2 = 0.33$	F = 0.1, $\eta_p^2 = 0.00$
Maximum power (W)	773.9 ± 80.1	801.9 ± 86.0	774.3 ± 86.2	809.0 ± 100.3	F = 0.1, $\eta_p^2 = 0.00$	F = 9.1*, $\eta_p^2 = 0.31$	F = 0.1, $\eta_p^2 = 0.01$

Mean ± SD; Significant differences ($P < 0.05$; ANOVA with Bonferroni correction) from C-O BPT (^a), E-C BP (^b), and E-C BPT (^c) are indicated; C-O BP, concentric-only bench press, C-O BPT, concentric-only bench press throw, E-C BP, eccentric-concentric bench press, E-C BPT, eccentric-concentric bench press throw; F, Snedecor's F; η_p^2 , partial eta squared; *, significant F value ($P < 0.05$).

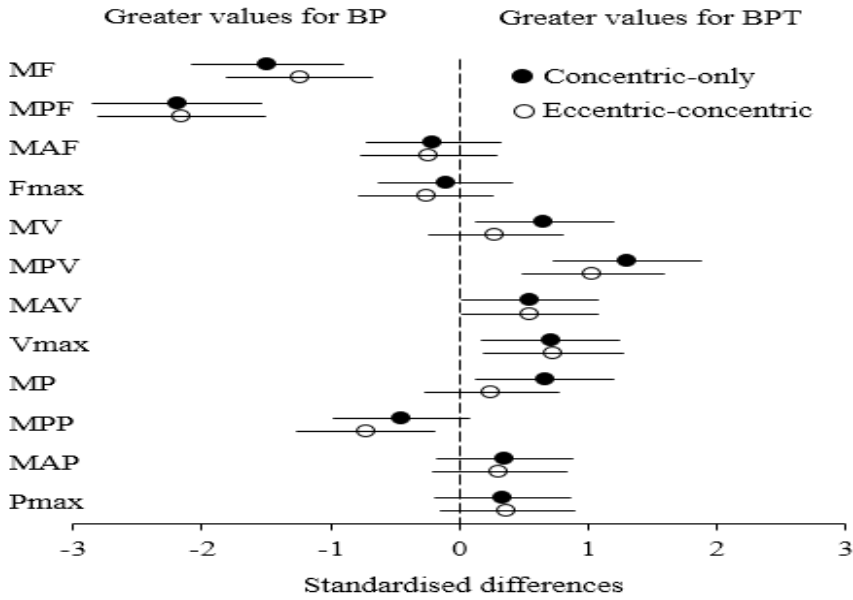


Figure 1. Standardized differences (90% confidence intervals) between the bench press (BP) and bench press throw (BPT) obtained from the concentric-only (filled circles) and eccentric-concentric (open circles) execution techniques. MF, mean force; MPF, mean propulsive force; MAF, mean accelerative force; Fmax, maximum force; MV, mean velocity; MPV, mean propulsive velocity; MAV, mean accelerative velocity; Vmax, maximum velocity; MP, mean power; MPP, mean propulsive power; MAP, mean accelerative power; Pmax, maximum power

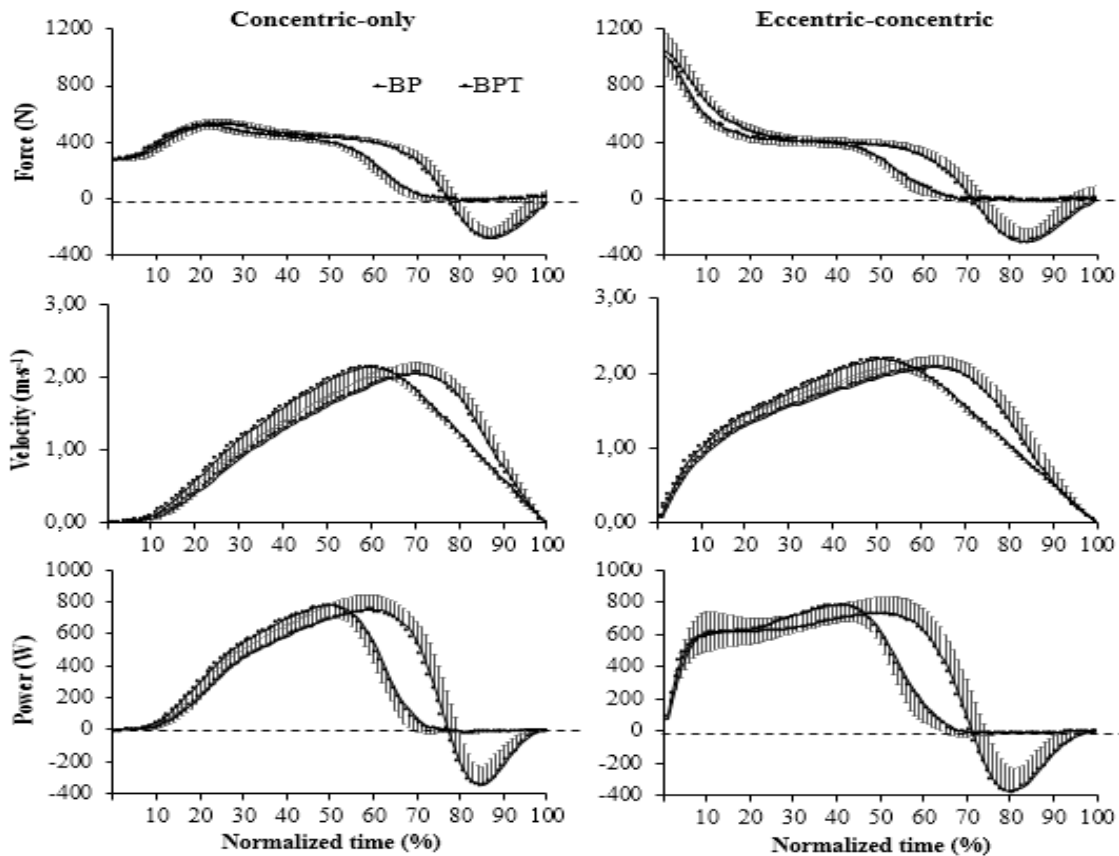


Figure 2. Averaged force- (top panels), velocity- (middle panels) and power-time (bottom panels) time series calculated across all subjects observed in the concentric-only (left panels) and eccentric-concentric (right panels) bench press (BP) and bench press throw (BPT) exercises. The error bars show the standard deviation. The time was normalized respect to the concentric phase duration (i.e., from the first positive velocity until the barbell reached maximum height).

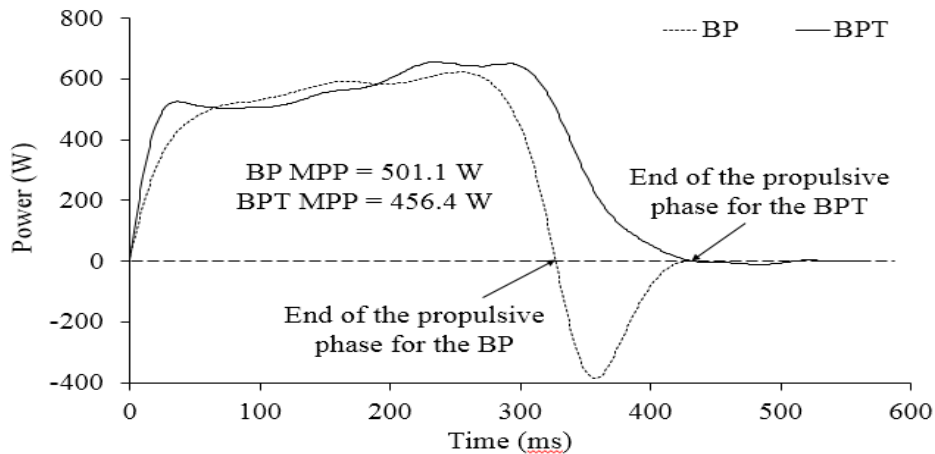


Figure 3. Power-time curves obtained from a representative subject during the eccentric-concentric bench press (BP) and bench press throw (BPT) where MPP denotes the mean propulsive power. Note that the end of the propulsive phase of the BPT corresponds to the initiation of the barbell's flight phase, which is responsible for the lower MPP observed in the BPT as compared to the BP.

ESTUDIO II. VERSIÓN EN INGLÉS.

Amador García-Ramos, Francisco Luis Pestaña-Melero, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas and Guy Gregry Haff. Differences in the Load-Velocity Profile Between 4 Bench-Press Variants. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018; 13(3): 326-331

doi: 10.1123/ijsp.2017-0158

ABSTRACT

Purpose: This study aimed to compare the load-velocity relationship between four variants of the bench press (BP) exercise. *Methods:* The full load-velocity relationship of 30 men were evaluated by means of an incremental loading test starting at 17 kg progressing to the individual one-repetition maximum (1RM) in four BP variants: concentric-only BP, concentric-only bench press throw (BPT), eccentric-concentric BP, and eccentric-concentric BPT. *Results:* A strong and fairly linear relationship between mean velocity (MV) and % 1RM was observed for the four BP variants ($r^2 > 0.96$ for pooled data and

$r^2 > 0.98$ for individual data). The MV associated with each %1RM was significantly higher in the eccentric-concentric technique compared to the concentric-only technique. The only significant difference between the BP and BPT variants was the higher MV with the light-moderate loads (20%1RM–70%1RM) in the BPT using the concentric-only technique. Mean test velocity was significantly and positively correlated between the four BP variants ($r = 0.44$ – 0.76), which suggests that the subjects with higher velocities for each %1RM in one BP variant also tend to have higher velocities for each %1RM in the three remaining BP variants. *Conclusions:* these results highlight (1) the need for obtaining specific equations for each BP variant, and (2) the existence of individual load-velocity profiles.

Key Words: traditional, ballistic, concentric-only, stretch-shortening cycle.

INTRODUCTION

Velocity based training (VBT) has recently received a lot of attention as a potential method for objectively monitoring and prescribing resistance training programs (González-Badillo et al., 2011; Mann, Ivey, & Sayers, 2015). The popularity of VBT has increased in response to the proliferation of linear position transducer devices (Harris et al., 2010) and other methods of evaluating the velocity of movement while performing resistance training (Balsalobre-Fernandez, Marchante, Muñoz-Lopez, & Jimenez, 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017). Linear transducers have been suggested to be precise and reliable tools for quantifying barbell velocity during a variety of lifting tasks (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; García-Ramos et al., 2018; Sanchez-Medina et al., 2010). Generally, three main applications are commonly attributed to VBT. First, the resistance exercise intensity can be adjusted on a daily basis due to the linear and stable relationship between mean velocity (MV) and relative load (i.e., the percent of the one-repetition maximum; %1RM) (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014). Second, the volume of the training set or training session can be based on the velocity loss because of the strong relationship between the magnitude of velocity loss and the degree of neuromuscular fatigue (Pareja-Blanco et al., 2017; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Finally, real-time velocity feedback provided by a linear position transducer may motivate athletes to give maximal effort on each repetition and, consequently, enhance training quality (Randell, Cronin, Keogh, Gill, & Pedersen, 2011).

The most frequently studied application of VBT is related to its ability to quantify exercise intensity (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Muñoz-Lopez, Marchante, Cano-Ruiz, Chicharro, & Balsalobre-Fernandez, 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014). Strong negative linear relationship exists between MV and increasing relative loads (i.e., 10–100%RM) for a number of upper and lower body exercises (Conceição et al., 2016; González-Badillo

& Sánchez-Medina, 2010; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014). The bench press (BP) has been the most commonly utilised upper body exercise to explore the load-velocity profile (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Jidovtseff et al., 2011; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014). In this regard, several investigations have provided general equations to predict BP relative load (% 1RM) from the velocity of the barbell recorded by linear position transducers. It should be noted that all the studies that have determined the load-velocity relationship in the concentric-only BP have reported very similar velocities for a given %1RM (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014). Collectively, these results offer support for the use of general equations to predict relative load in the concentric-only BP exercise.

The load-velocity relationship seems to be quite stable for a given exercise regardless of the strength levels (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kopal, et al., 2017). Conversely, it may vary markedly between different exercises (Conceição et al., 2016; Sánchez-Medina et al., 2014) or even within variants of the same exercise (Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014). For example, Pallarés et al. (2014) indicated that the mean propulsive velocity (MPV) linked to a given % 1RM was higher for the eccentric-concentric BP than for the concentric-only BP (e.g., $0.66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $0.59 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ for the 70% 1RM, respectively) despite the eccentric phase being performed at a slow-controlled velocity ($\approx 0.45\text{--}0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). It could be speculated that a faster eccentric phase would have accentuated the differences between both BP variants since a faster eccentric movement should enhance the performance of the subsequent concentric phase. Although the majority of studies that have examined the load-velocity relationship have used a pause between the eccentric and concentric muscle actions (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014), eccentric-concentric training is more commonly used in comparison to concentric-only training (Markovic, 2007; Sáez de Villarreal, Requena, & Cronin, 2012). In addition, resistance training programs oriented towards the development of muscular power usually include the bench press throw (BPT), which is the ballistic variant of the BP. It is well documented that the BPT produces significantly greater force, velocity, power and muscle activity in comparison to the traditional BP (García-Ramos et al., 2018; Newton et al., 1996). Therefore, it is of interest to determine the load-velocity relationship in all the variants of the BP exercise included in resistance training programs as well as to explore the differences and associations that may exist among them.

To address these questions, this study aimed to determine the load-velocity relationships in four common variants of the BP exercise (i.e. concentric-only BP, concentric-only BPT, eccentric-concentric BP and eccentric-concentric BPT). We hypothesised that (1) the load-velocity relationship would be specific to each BP variant with the eccentric-concentric technique and the ballistic BPT showing higher velocities for each of the relative loads tested, and (2) the mean test velocity would not be correlated between the four BP variants since general load-velocity equations have been provided under the assumption that the % 1RM-velocity relationship is subject-independent (González-Badillo &

Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014).

METHODS

Subjects

Thirty physically active collegiate men volunteered to participate in this study (mean \pm SD: age = 21.2 \pm 3.8 years; body mass: 72.3 \pm 7.3 kg; body height = 1.78 \pm 0.07 m; body mass index = 22.8 \pm 1.9 kg·m⁻²). Subjects were instructed to avoid any strenuous exercise two days before each testing session. They were informed of the study procedures and signed a written informed consent form prior to initiating the study. The study protocol adhered to the tenets of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board.

Study design

A repeated-measures design was used to compare the load-velocity relationship between four variants of the BP exercise. Following two familiarization sessions, in which the subjects were instructed about how to properly perform the four BP variants, subjects came to the laboratory on eight separate occasions, twice per week, for four consecutive weeks, with at least 48 hours of rest between each session. Subjects were tested on only one BP variant in a randomised order per week. The first session of the week served for further familiarization with the tested BP variant and the data from the second session was then used for statistical analysis. During the eight testing session, the individual load-velocity relationship was determined by means of an incremental loading test following a standard procedure (Sanchez-Medina et al., 2010). Testing sessions were performed at the same time of the day for each subject (\pm 1 h) and under similar environmental conditions (\sim 22° C and \sim 60% humidity).

Testing procedure

Each testing session began with a 10 min standardized warm-up, which included jogging, dynamic stretching, arm and shoulder mobilization, and one set of five repetitions performed in an explosive manner with an external load of 17 kg (mass of the unloaded Smith machine barbell) in the tested BP variant. The initial external load of the incremental loading test was set at 17 kg and was progressively increased in 10 kg increments until the attained MPV was lower than 0.50 m·s⁻¹. From that moment, the load was progressively increased in steps of five to one kg until the 1RM strength was determined. For the lighter loads (MPV > 1.0 m·s⁻¹) three repetitions were executed at each load, two for the medium (0.65 m·s⁻¹ \leq MPV \leq 1.0 m·s⁻¹), and only one for the heavier loads (MPV < 0.65 m·s⁻¹). Intra-set rest was 10 s and inter-set rest was fixed to 5 min. Two trained spotters were present on each side of the bar to ensure safety. Subjects received velocity performance feedback immediately after each repetition to

encourage them to give maximal effort. The four BP variants evaluated were:

- *Concentric-only bench press*: a mechanical brake was used to hold the bar parallel to the subjects' nipples just above ($\approx 1\text{-}2$ cm) their chest (Cronin et al., 2003). Subjects self-selected the grip width, which was measured and kept constant throughout all testing sessions. From the initial position, subjects lifted the bar as fast as possible until their elbows reached full extension. The hands of the subjects were in contact with the bar through the whole movement.

- *Concentric-only bench press throw*: The execution technique was identical to the concentric-only BP, with the only difference that subjects were instructed to throw the bar as high as possible. However, it should be noted that with heavy loads ($\geq 75\%$ 1RM) the bar could not be thrown ($\approx 75\%$ 1RM), and the subjects completed the test using the traditional concentric-only BP variant at the maximum possible velocity.

- *Eccentric-concentric bench press*: Subjects initiated the task holding the bar with their elbows fully extended. From this position, subjects were instructed to perform the eccentric and concentric muscle actions as fast as possible (Cronin et al., 2003). The bar was lowered until contacting with the subjects' chest and the concentric action ended when the subjects' elbows reached full extension. The hands of the subjects were in contact with the bar through the whole movement.

- *Eccentric-concentric bench press throw*: The execution technique was identical to the eccentric-concentric BP variant, with the only difference that subjects were instructed to throw the bar as high as possible. However, it should be noted that with heavy loads ($\geq 75\%$ 1RM) the bar could not be thrown, and the subjects completed the test using the traditional eccentric-concentric BP variant at the maximum possible velocity.

Measurement equipment and data analysis

Height (Seca 202, Seca Ltd., Hamburg, Germany) and body mass (Tanita BC 418 segmental, Tokyo, Japan) were assessed in the first testing session. A Smith machine (Technogym, Barcelona, Spain) was used in all testing sessions coupled with a linear velocity transducer (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain) which directly sampled movement velocity with a frequency of 1,000 Hz. Only the repetition with the highest MV for each set was used for subsequent analysis. MV (average velocity from the first positive velocity until the bar reaches maximum height) was used instead of the MPV (average velocity from the first positive velocity until the acceleration of the bar is lower than gravity) because a higher number of devices can accurately monitor MV but not MPV (Balsalobre-Fernandez et al., 2017). The MV attained at each %1RM as well as the mean test velocity were obtained from the individual load-velocity relationships. The mean test velocity was calculated as the average MV value obtained from all the %1RM estimated in the present study (i.e., from 20%1RM to 100%1RM in 5%

increments).

Statistical analysis

Data are presented as means and standard deviations, while the Pearson's multivariate coefficient of determination (r^2) are presented through their median values and ranges. The relationship between MV and % 1RM was established by means of a linear regression (Banyard, Nosaka, & Haff, 2016; Conceição et al., 2016). The goodness of fit was assessed by r^2 and the standard error of the estimate (SEE). To compare the goodness of fit of the load-velocity relationships between the four BP variants, a one-way repeated measures ANOVA with Bonferroni post-hoc test was applied on the Fisher's Z-transformed Pearson's correlation coefficients (r). One-way repeated measures ANOVAs with Bonferroni post-hoc tests were also applied to compare the MV attained at each % 1RM between the four BP variants. The 1RM strength and the MV attained in the 1RM attempt (V1RM) were compared between both execution techniques through paired samples t-tests. Hedge's g effect size was also computed to determine the magnitude of differences. The association between mean test velocity, 1RM strength and V1RM was quantified through the r coefficient. Significance was accepted at $P < 0.05$. All statistical analyses were performed using the software package SPSS (IBM SPSS version 22.0, Chicago, IL, USA).

RESULTS

Strong linear relationships were observed between MV and relative load across the four BP variants ($r^2 > 0.96$; Figure 1). Therefore, the following general regression equations could be proposed to estimate % 1RM from MV:

$$\text{Concentric-only BP \% 1RM} = -69.62 \times \text{MV} + 110.3 \quad (r^2 = 0.966, \text{SEE} = 4.95\%)$$

$$\text{Concentric-only BPT \% 1RM} = -65.00 \times \text{MV} + 108.6 \quad (r^2 = 0.969, \text{SEE} = 4.71\%)$$

$$\text{Eccentric-concentric BP \% 1RM} = -55.92 \times \text{MV} + 108.8 \quad (r^2 = 0.974, \text{SEE} = 4.38\%)$$

$$\text{Eccentric-concentric BPT \% 1RM} = -55.9 \times \text{MV} + 109.6 \quad (r^2 = 0.979, \text{SEE} = 3.96\%)$$

[Figure 1]

The individual load-velocity relationships were also very strong for the concentric-only BP ($r^2 = 0.990$ [0.971, 0.997]), concentric-only BPT ($r^2 = 0.987$ [0.957, 0.998]), eccentric-concentric BP ($r^2 = 0.992$ [0.964, 0.998]), and eccentric-concentric BPT ($r^2 = 0.992$ [0.969, 0.998]). Significant differences in the strength of the load-velocity relationships were observed between the BP variants ($F = 3.24$, $P = 0.038$, $\eta_p^2 = 0.265$). Significant differences ($P = 0.047$) in the strength of the load-velocity were

observed between the concentric-only BPT (Fisher's $Z = 2.91 \pm 0.38$) and the eccentric-concentric BPT (Fisher's $Z = 3.10 \pm 0.33$) (Figure 2).

[Figure 2]

The one-way repeated measures ANOVAs conducted on MV values proved to be significant at all relative loads (Table 1). The Bonferroni post-hoc comparisons revealed that the MV associated with each %1RM was always significantly higher in the eccentric-concentric technique compared to the concentric-only technique. No significant differences in MV values between the eccentric-concentric BP and BPT were observed at any %1RM. However, the MV was higher in the concentric-only BPT than in the concentric-only BP from 20%1RM to 70%1RM, but not significant differences were observed at higher %1RM.

[Table 1]

Maximum strength (1RM) of the eccentric-concentric BP ($1RM = 81.4 \pm 13.8$ kg) was significantly greater ($P < 0.001$; ES = 0.36 [95% confidence interval: -0.15, 0.87]; % = 6.2%) than the concentric-only BP ($1RM = 76.7 \pm 12.7$ kg) (Figure 3). However, no significant differences ($P = 0.232$; ES = 0.33 [95% confidence interval: -0.18, 0.84]; % = 5.6%) were observed in the V1RM between the concentric-only BP (0.168 ± 0.026 m·s⁻¹) and eccentric-concentric BP (0.178 ± 0.030 m·s⁻¹). 1RM strength was very strongly associated between BP execution techniques ($r = 0.98$; $P < 0.001$), whereas V1RM between techniques was unrelated ($r = -0.11$; $P = 0.554$).

[Figure 3]

Mean test velocity was significantly and positively correlated between the four BP variants (Table 2). Concentric-only BP mean test velocity was not significantly correlated with 1RM strength ($r = -0.260$; $P = 0.165$) or V1RM ($r = 0.116$; $P = 0.543$). Concentric-only BPT mean test velocity was not significantly correlated with 1RM strength ($r = -0.297$; $P = 0.111$) or V1RM ($r = 0.234$; $P = 0.213$). Eccentric-concentric BP mean test velocity was significantly correlated with 1RM strength ($r = -0.416$; $P = 0.007$), but not with V1RM ($r = 0.010$; $P = 0.958$). Finally, eccentric-concentric BPT mean test velocity was significantly correlated with both 1RM strength ($r = -0.462$; $P = 0.010$) and V1RM ($r = 0.432$; $P = 0.017$).

[Table 2]

DISCUSSION

The present study explored the load-velocity relationship of four commonly prescribed variants of the BP exercise. One of the main findings of the present study is a strong linear relationship between MV and relative load (% 1RM) across the four BP variants. Supporting the first hypothesis, the load-velocity relationship proved to be exercise-dependent. Larger differences in the load-velocity relationships were observed between the execution techniques (higher MV for all % 1RM in the eccentric-concentric variant) than those achieved in the BP and BPT variants. The second hypothesis was rejected since the mean test velocity was significantly and positively correlated between the four BP variants (i.e., the subjects with higher velocities for each % 1RM in one BP variant also tend to have higher velocities for each % 1RM in the three remaining BP variants). While these results suggest the need for obtaining specific equations for each BP variant, it also highlights the existence of individual load-velocity profiles.

Strong linear relationships between MV and % 1RM were observed for all BP variants ($r^2 > 0.96$ for pooled data and $r^2 > 0.98$ for individual data). These results demonstrated a low standard error of the general equations (SEE = 3.96 – 4.95 % 1RM), supporting the use of linear regression models to estimate relative load from the velocity of the barbell in the four BP variants performed in the Smith machine (Conceição et al., 2016; Loturco, Kobal, et al., 2017). The strongest linearity of the individuals' load-velocity relationships as well as the lowest error of the general equation was observed in the eccentric-concentric BPT ($r^2 = 0.979$ and SEE = 3.96% 1RM). The slightly better results (i.e., higher r^2 and lower SEE) obtained in the present study for the eccentric-concentric technique are in disagreement with the results presented by Pallarés et al. (2014) who reported higher r^2 and lower SEE in the concentric-only technique ($r^2 = 0.98$ and SEE = 0.06 m·s⁻¹) compared to the eccentric-concentric technique ($r^2 = 0.96$ and SEE = 0.10 m·s⁻¹). These results may be partially explained by the different instructions given to the subjects regarding the performance of the eccentric phase (slow-controlled velocity vs. fast eccentric phase) of the lift. Therefore, a fast eccentric phase could be preferable to gain precision in the determination of the load-velocity relationship. Nevertheless, these slight differences may be irrelevant in a practical setting, suggesting that the load-velocity relationship should be determined with the technique most representative of the types of exercises used in individual training sessions.

The velocity attained at each % 1RM was specific for each BP variant. In agreement with Pallarés et al. (2014) the MV associated to each % 1RM was higher for the eccentric-concentric technique when compared to the concentric-only BP. These differences decreased with increasing load (i.e., smaller differences at higher % 1RM) highlighting the potentiation effect of eccentric phase of the movement under lighter loads. The exercise type (traditional vs. ballistic) resulted in trivial effects on the load-velocity relationship. The flight phase of the barbell, which is included in MV calculations, could be partially responsible for the attenuation of the differences between traditional and ballistic BP exercises. Therefore, independent regressions equations should be utilized for each BP variant. Since a

faster eccentric phase could further increase the performance of the subsequent concentric phase (Komi, 2000), it is plausible that the load-velocity relationship could be partially dependent on the velocity of the eccentric phase.

1RM strength and the velocity at 1RM (V1RM) were higher in the eccentric-concentric BP than in the concentric-only BP. The higher velocity that can be achieved at the beginning of the lifting due to the utilization of stretch-shorten cycle could allow the athlete to overcome the “sticking point” and, in turn, increase 1RM and its respective velocity (Van den Tillaar & Ettema, 2010). Under the assumption that velocity at 1RM is stable between individuals, several studies have aimed to predict 1RM from the load-velocity relationship (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Banyard et al., 2016). The results of the present study suggest that this velocity threshold should be slightly higher for the eccentric-concentric BP than for the concentric-only BP.

González-Badillo and Sánchez-Medina (2010) postulated that individual differences in the load-velocity relationship might be explained by the V1RM (higher V1RM = higher mean test velocity). However, the results of the present study failed to show significant correlations between mean test velocity and V1RM in three out of the four BP variants evaluated. On the other hand, mean test velocity was significantly and positively correlated between the four BP variants ($r = 0.44-0.76$), which indicates that subjects possessing higher mean test velocity in one of the BP variants also tend to have greater mean test velocities in the three remaining BP variants. Note that a higher mean test velocity would be obtained by subjects which are able to produce a higher proportion of their maximal force against submaximal loads. The results of the present study suggest that the variability in the individual load-velocity relationships could be explained by the possibility that each subject may have a different load-velocity profile. These results are in agreement with recent studies showing large between-subject differences in force-velocity profiles (Giroux et al., 2016; Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli, & Morin, 2017; Samozino et al., 2014). Therefore, the individual assessment of the load-velocity profile could be recommended for a more accurate prescription of resistance training programs.

The MV values were used in this study instead of MPV values because they are easy to determine with data collected from most linear position transducers, as well as in other devices (i.e., mobile apps and accelerometers) (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017). It is plausible that the load-velocity relationships would have differed even more between the execution techniques (concentric-only vs. eccentric-concentric) and exercise fashion (BP vs. BPT) if MPV values would have been used. It should also be noted that a recent study has suggested that MV could provide the load-velocity relationship with higher reliability than MPV (García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, & Haff, 2017). Future studies should elucidate whether the results of the present study are transferable to the free-weight BP.

PRACTICAL APPLICATIONS

The present study provides general linear regression equations that allow for the estimation of relative load (% 1RM) in four variants of the BP exercise. However, the significant and positive associations in mean test velocity observed between the four BP variants also highlight that subjects with higher MV for each % 1RM in one BP variant also tend to have higher MV for each % 1RM in the remaining BP variants (i.e., the load-velocity profile is subject-dependent). Therefore, the individual assessment of the load-velocity profiles should be recommended. Finally, it should be noted that both the 1RM strength and the V1RM are higher for the eccentric-concentric BP than in the concentric-only BP.

CONCLUSIONS

All load-velocity relationships were highly linear, but they differed considerably between the four BP variants. Namely, the velocity attained at each % 1RM was markedly higher for the eccentric-concentric technique compared to the concentric-only technique. The differences between the traditional BP and the ballistic BPT were less pronounced, and the only significant difference was the higher MV linked to the light-moderate loads (20% 1RM–70% 1RM) in the BPT using the concentric-only technique. The positive associations of mean test velocity between the four BP variants suggest the existence of individual load-velocity profiles. Therefore, although the general equations provided in the present study for each BP variant could be utilised, sport professionals should be aware that the individual assessment is desirable because the load-velocity profile is subject-dependent.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank all the subjects who selflessly participated in the study.

REFERENCES

1. Mann J, Ivey P, Sayers S. Velocity-based training in football. *Strength Cond J.* 2015;37:52–57.
2. González-Badillo JJ, Marques MC, Sánchez-Medina L. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J Hum Kinet.* 2011;29(A):15–19,
3. Harris NK, Cronin J, Taylor KL, Boris J, Sheppard J. Understanding position transducer technology for strength and conditioning practitioners. *Strength Cond J.* 2010;32:66–79.

4. Banyard HG, Nosaka K, Sato K, Haff G. Validity of various methods for determining velocity, force and power in the back squat. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017. Epub ahead of print.
5. Balsalobre-Fernandez C, Marchante D, Munoz-Lopez M, Jimenez SL. Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *J Sports Sci.* 2017. Epub ahead of print.
6. Sanchez-Medina L, Perez CE, Gonzalez-Badillo JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med.* 2010;31:123–129.
7. García-Ramos A, Haff G, Padial P, Feriche B. Reliability of power and velocity variables collected during the traditional and ballistic bench press exercise. *Sport Biomech.* 2017. Epub ahead of print.
8. Conceição F, Fernandes J, Lewis M, González-Badillo JJ, Jimenéz-Reyes P. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J Sports Sci.* 2016;34:1099–1106.
9. Pallarés JG, Sánchez-Medina L, Pérez CE, De La Cruz-Sánchez E, Mora-Rodriguez R. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci.* 2014;32:1165–1175.
10. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med.* 2010;31:347–352.
11. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, et al. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sport.* 2017;27:724–735.
12. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1725–1734.
13. Randell AD, Cronin JB, Keogh JW, Gill ND, Pedersen MC. Effect of instantaneous performance feedback during 6 weeks of velocity-based resistance training on sport-specific performance tests. *J Strength Cond Res.* 2011;25:87–93.
14. Muñoz-López M, Marchante D, Cano-Ruiz M, López-Chicharro J, Balsalobre-Fernández C. Load, force and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017. Epub ahead of print.
15. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ, Pérez CE, Pallarés JG. Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int J Sports Med.* 2014;35:209–216.
16. Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res.* 2011;25:267–270.
17. Loturco I, Kopal R, Moraes JE, et al. Predicting the maximum dynamic strength in bench-press: The high-precision of the bar-velocity approach. *J Strength Cond Res.* 2017;31:1127–1131.
18. Markovic G. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br J Sports Med.* 2007;41:349–355.

19. Sáez de Villarreal E, Requena B, Cronin JB. The effects of plyometric training on sprint performance: a meta analysis. *J Strength Cond Res.* 2012;26:575–584.
20. Newton RU, Kraemer WJ, Hakkinen K, Humphries BJ, Murphy AJ. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech.* 1996;12:31–43.
21. Cronin JB, McNair PJ, Marshall RN. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res.* 2003;17:148–155.
22. Banyard HG, Nosaka K, Haff GG. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *J Strength Cond Res.* 2017;31:1897–1904.
23. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics.* 2000;33:1197–1206.
24. van den Tillaar R, Ettema G. The ‘sticking period’ in a maximum bench press. *J Sports Sci.* 2010;28:529–535.
25. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin J-B. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Front Physiol.* 2017;7:677.
26. Giroux C, Rabita G, Chollet D, Guilhem G. Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes. *J Appl Biomech.* 2016;32:59–68.
27. Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin JB. Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *Int J Sports Med.* 2014;35:505–510.
28. García-Ramos A, Pestaña-Melero F, Pérez-Castilla A, Rojas F, Haff G. Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability? *J Strength Cond Res.* 2017. Epub ahead of print.

Table 1. Comparison of the mean velocity ($m \cdot s^{-1}$) attained against each relative load (%1RM) between the four variants of the bench press exercise.

Load (%1RM)	ANOVA	Concentric-only BP	Concentric-only BPT	Eccentric-concentric BP	Eccentric-concentric BPT
20	$F = 143.6, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$1.28 \pm 0.09^{b,c,d}$	$1.34 \pm 0.08^{a,c,d}$	1.57 ± 0.09^{ab}	1.59 ± 0.06^{ab}
25	$F = 144.1, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$1.21 \pm 0.09^{b,c,d}$	$1.27 \pm 0.07^{a,c,d}$	1.49 ± 0.09^{ab}	1.51 ± 0.06^{ab}
30	$F = 144.6, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$1.14 \pm 0.08^{b,c,d}$	$1.20 \pm 0.07^{a,c,d}$	1.40 ± 0.08^{ab}	1.42 ± 0.06^{ab}
35	$F = 144.9, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$1.07 \pm 0.08^{b,c,d}$	$1.12 \pm 0.07^{a,c,d}$	1.31 ± 0.08^{ab}	1.33 ± 0.06^{ab}
40	$F = 145.0, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$1.00 \pm 0.07^{b,c,d}$	$1.05 \pm 0.06^{a,c,d}$	1.22 ± 0.07^{ab}	1.24 ± 0.06^{ab}
45	$F = 144.6, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$0.93 \pm 0.06^{b,c,d}$	$0.97 \pm 0.06^{a,c,d}$	1.14 ± 0.07^{ab}	1.15 ± 0.05^{ab}
50	$F = 143.5, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$0.86 \pm 0.06^{b,c,d}$	$0.90 \pm 0.05^{a,c,d}$	1.05 ± 0.06^{ab}	1.07 ± 0.05^{ab}
55	$F = 141.3, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.94$	$0.79 \pm 0.05^{b,c,d}$	$0.82 \pm 0.05^{a,c,d}$	0.96 ± 0.06^{ab}	0.98 ± 0.05^{ab}
60	$F = 137.4, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.93$	$0.72 \pm 0.05^{b,c,d}$	$0.75 \pm 0.05^{a,c,d}$	0.87 ± 0.05^{ab}	0.89 ± 0.05^{ab}
65	$F = 130.8, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.93$	$0.65 \pm 0.05^{b,c,d}$	$0.67 \pm 0.04^{a,c,d}$	0.79 ± 0.05^{ab}	0.80 ± 0.05^{ab}
70	$F = 120.2, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.93$	$0.58 \pm 0.04^{b,c,d}$	$0.60 \pm 0.04^{a,c,d}$	0.70 ± 0.05^{ab}	0.71 ± 0.05^{ab}
75	$F = 104.7, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.92$	$0.51 \pm 0.04^{c,d}$	$0.52 \pm 0.04^{c,d}$	0.61 ± 0.04^{ab}	0.63 ± 0.05^{ab}
80	$F = 84.4, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.90$	$0.44 \pm 0.04^{c,d}$	$0.45 \pm 0.04^{c,d}$	0.52 ± 0.04^{ab}	0.54 ± 0.04^{ab}
85	$F = 61.3, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.86$	$0.37 \pm 0.03^{c,d}$	$0.37 \pm 0.04^{c,d}$	0.44 ± 0.04^{ab}	0.45 ± 0.04^{ab}
90	$F = 39.0, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.80$	$0.30 \pm 0.03^{c,d}$	$0.30 \pm 0.03^{c,d}$	0.35 ± 0.04^{ab}	0.36 ± 0.04^{ab}
95	$F = 20.7, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.68$	$0.23 \pm 0.03^{c,d}$	$0.22 \pm 0.03^{c,d}$	0.26 ± 0.04^{ab}	0.28 ± 0.04^{ab}
100	$F = 8.65, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.47$	0.16 ± 0.04^d	$0.15 \pm 0.03^{c,d}$	0.18 ± 0.04^b	0.19 ± 0.05^{ab}

1RM, one-repetition maximum; BP, bench press; BPT, bench press throw; ^a, significant differences respect to concentric BP; ^b, significant differences respect to concentric BPT; ^c, significant differences respect to eccentric-concentric BP; ^d, significant differences respect to eccentric-concentric BPT. Significance was accepted at $P < 0.05$.

Table 2. Correlations between the mean test velocity between the four variants of the bench press exercise.

	Concentric-only BP	Concentric-only BPT	Eccentric-concentric BP
Concentric-only BPT	0.757**		
Eccentric-concentric BP	0.627**	0.437*	
Eccentric-concentric BPT	0.729**	0.683**	0.632**

BP, bench press; BPT, bench press throw, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

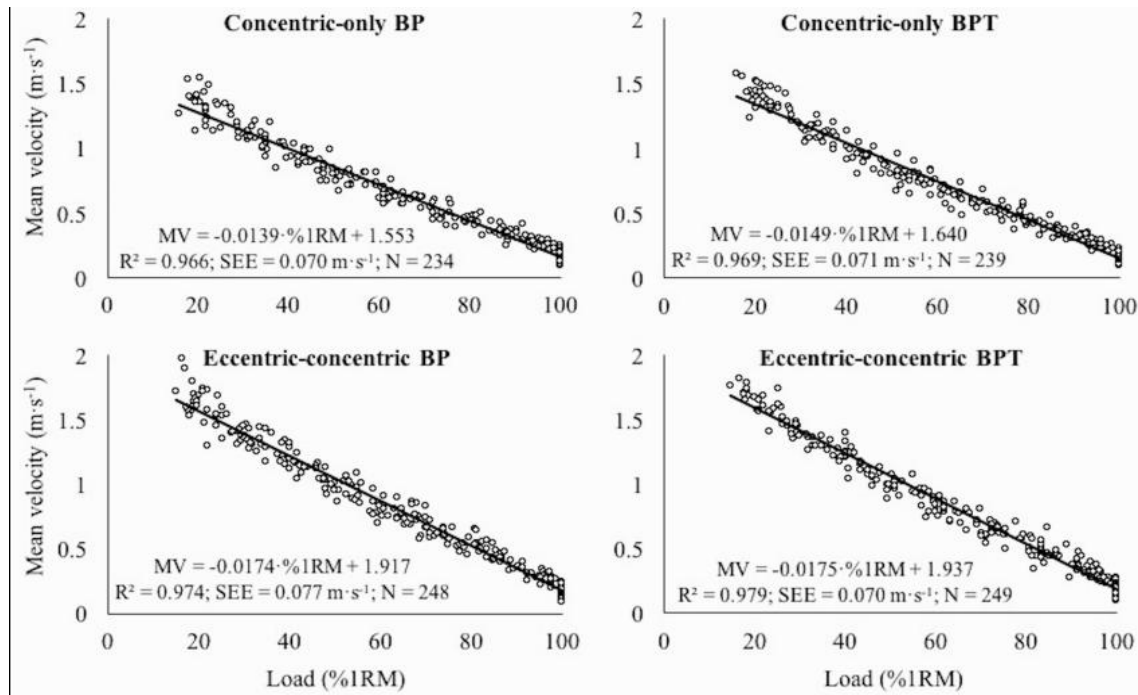


Figure 1. Relationship between relative load (%1RM) and mean velocity (MV) in the concentric-only BP (upper-left panel), concentric-only BPT (upper-right panel), eccentric-concentric BP (lower-left panel), and eccentric-concentric BPT (lower-right panel). BP, Bench press; BPT, Bench press throw; R², Pearson's multivariate coefficient of determination; SEE, standard error of the estimate; N = number of trials included in the regression analysis.

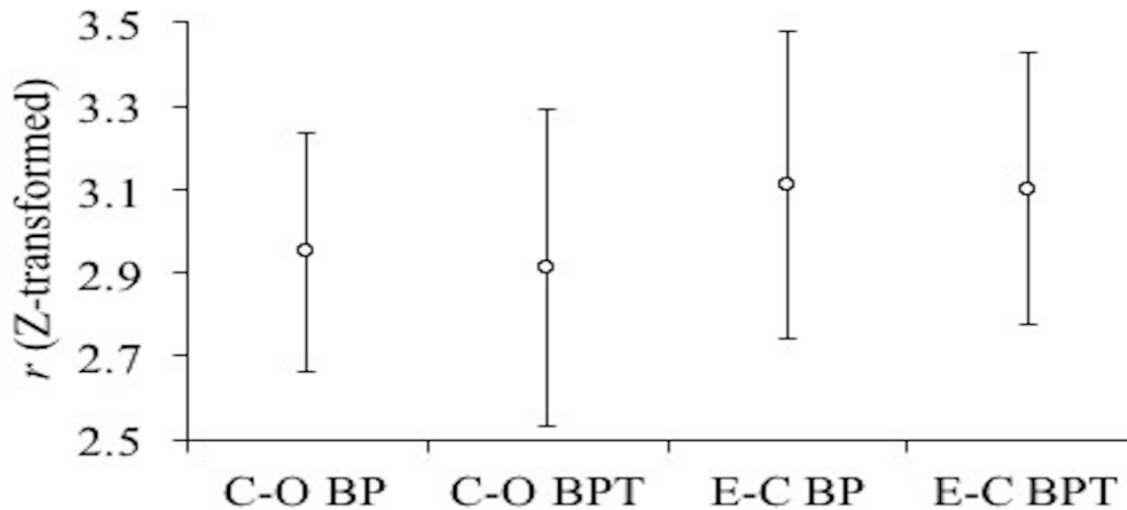


Figure 2. Fisher's Z-transformed individual Pearson's correlation coefficients (means with SD error bars) obtained from the individual load-velocity relationships. C-O BP, concentric-only bench press; C-O BPT, concentric-only bench press throw, E-C BP, eccentric-concentric bench press; E-C BPT, eccentric-concentric bench press throw.

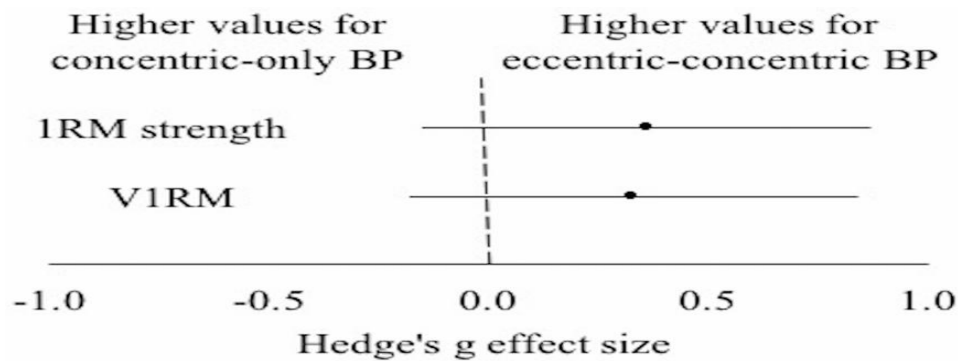


Figure 3. Hedge's g effect size with 95% confidence intervals comparing the magnitude of differences in the one-repetition maximum (1RM) strength and the mean velocity attained in the 1RM attempt (V1RM) between the concentric-only and eccentric-concentric execution techniques.

ESTUDIO III. VERSIÓN EN INGLÉS

Francisco Luis Pestaña-Melero, Guy Gregory Haff, Francisco Javier Rojas, Alejandro Pérez-Castilla, Amador García-Ramos. Reliability of the Load-Velocity Relationship Obtained Through Linear and Polynomial Regression Models to Predict the 1-Repetition Maximum Load. *Journal of Applied Biomechanics*, 2018; 34(3): 184-190.

doi: 10.1123/jab.2017-0266

Abstract

This study aimed to compare the between-session reliability of the load-velocity relationship between (1) linear *vs.* polynomial regression models, (2) concentric-only *vs.* eccentric-concentric bench press variants, as well as (3) the within-participants *vs.* the between-participants variability of the velocity attained at each percentage of the one-repetition maximum (% 1RM). The load-velocity relationship of 30 men (age: 21.2 ± 3.8 y; height: 1.78 ± 0.07 m, body mass: 72.3 ± 7.3 kg; bench press 1RM: 78.8 ± 13.2 kg) were evaluated by means of linear and polynomial regression models in the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants in a Smith Machine. Two sessions were performed with each bench press variant. The main findings were: (1) first-order-polynomials (CV: 4.39%–4.70%) provided the load-velocity relationship with higher reliability than second-order-polynomials (CV: 4.68%–

5.04%); (2) the reliability of the load-velocity relationship did not differ between the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants; (3) the within-participants variability of the velocity attained at each %1RM was markedly lower than the between-participants variability. Taken together, these results highlight that, regardless of the bench press variant considered, the individual determination of the load-velocity relationship by a linear regression model could be recommended to monitor and prescribe the relative load in the Smith machine bench press exercise.

Keywords: *relative load, one-repetition maximum, concentric-only, stretch-shortening cycle*

Introduction

Resistance training is an effective method of increasing both life expectancy (Ruiz et al., 2008) and athletic performance (Suchomel, Nimphius, & Stone, 2016). Although multiple resistance-training variables should be considered when designing resistance training programs (Spiering et al., 2008), exercise intensity has been proposed as one of the most crucial factors needed to maximise neuromuscular adaptations (Fry, 2004). The most common method utilised to quantify resistance exercise intensity requires the determination of the one-repetition maximum (1RM) (Ratamess et al., 2009). Once the 1RM is known, the loads can be applied relative to the 1RM value (%1RM). Because the direct determination of the 1RM presents several limitations, different indirect methods have been proposed to predict the 1RM value (Banyard et al., 2016; Brzycki, 1993; Jidovtseff et al., 2011; Picerno et al., 2016). The most popular method developed in recent years consists on predicting the 1RM from the mean velocity reached against a submaximal load performed at the maximum possible velocity (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Banyard et al., 2016; Bazuelo-Ruiz et al., 2015; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). The use of movement velocity to predict relative load is justified by the strong relationship that has been observed between mean velocity and %1RM in both upper-body and lower-body exercises performed in a Smith machine (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). However, the reliability of mean velocity to predict the 1RM could be compromised in free-weight exercises (Banyard et al., 2016; Picerno, 2017).

The load-velocity relationship has been used to predict 1RM with both linear (Banyard et al., 2016; Conceição et al., 2016; Jidovtseff et al., 2011) and polynomial regression models (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Pallarés, Sánchez-Medina, Pérez, De La Cruz-Sánchez, & Mora-Rodriguez, 2014). However, to the authors knowledge no study has determined which of these two regression models provides the most reliable method for determining the load-velocity relationship. It is possible that the linear regression model could be recommended if both regression models present similar precision and reliability because it is simpler to employ. Therefore, we believe that determining the reliability and precision of both regression models (linear and polynomial) to obtain the load-velocity relationship presents practical interest.

General equations based on both linear and polynomial regression models have been proposed for different exercises to determine the relative load (% 1RM) from the velocity recorded during a single submaximal load (Conceição et al., 2016; García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, & Haff, 2018; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014). These general equations have been constructed under the assumption that the velocity associated to each % 1RM is the same for all individuals. However, to the best of our knowledge, the between-participants variability of the mean velocity attained at each % 1RM has never been compared against the within-participants variability. While a similar between-participants and within-participants variability would support the use of general prediction equations, a lower within-participants variability of the mean velocity attained at each % 1RM would strengthen the argument for using individual load-velocity profiles.

Test-retest reliability concerns the repeatability of the observed value when the measurement is repeated and it is generally assessed by the standard error of measurement (commonly expressed as coefficient of variation; CV) and the intraclass correlation coefficient (ICC) (Hopkins, 2000). While the CV is an index of absolute reliability (i.e., it indicates the consistency of individual scores), the ICC is an index of relative reliability (i.e., it reflects the stability in the position of an individual within a group) (Weir, 2005). Therefore, a high absolute reliability (i.e., low CV values) of the load-velocity relationship could be expected due to the strong relationship that exists between mean velocity and % 1RM (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). However, since it has been proposed that the load-velocity relationship is independent of the strength of the individuals (i.e., each % 1RM is associated with a fixed velocity for all individuals) (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kopal, et al., 2017), a low relative reliability (i.e., low and non-significant ICC values) should be expected. As far as we know, although the between-session reliability of the determination of the 1RM from mean velocity has been already explored (Banyard et al., 2016), the between-session reliability of the load-velocity relationship (i.e., the velocity of each % 1RM) has not been explored yet and, consequently, the assumptions provided above are just hypotheses.

To address the problems discussed above, we assessed on separate occasions the bench press (two variants: concentric-only and eccentric-concentric) load-velocity relationship in a homogeneous group of participants in a Smith machine. Specifically, the aims of the present study were to compare the between-session reliability of the load-velocity relationship between (I) linear *vs.* polynomial regression models, and (II) concentric-only *vs.* eccentric-concentric bench press variants. We also aimed (III) to compare the within-participants *vs.* the between-participants variability of the velocity attained at each % 1RM. Since previous studies have reported a strong and fairly linear relationship between relative load and velocity (Conceição et al., 2016; García-Ramos et al., 2017; Jidovtseff et al., 2011), we hypothesised that (1) the load-velocity relationship would be determined with higher reliability by the linear regression model. Due to the higher intraday reliability of the load-velocity

relationship reported by Pallarés et al. (2014) when an isometric pause with the elbows flexed was introduced, we also hypothesised that (2) the load-velocity relationship would be determined with higher interday reliability in the concentric-only bench press than in the eccentric-concentric bench press. Finally, we hypothesised that (3) no meaningful differences in the variability of the mean velocity attained at each % 1RM would be observed between individual and general regressions since the load-velocity relationship has proven to be independent of the strength values of the individuals (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kopal, et al., 2017).

Methods

Thirty male sport science students volunteered to participate in this study (mean \pm standard deviation: age = 21.2 ± 3.8 y; body mass = 72.3 ± 7.3 kg; body height = 1.78 ± 0.07 m; body mass index = 22.8 ± 1.9 kg·m⁻²). All participants were physically active and had at least one year of resistance training experience including the bench press exercise. Participants were instructed to avoid any strenuous exercise two days before each testing session. They were informed of the study procedures and signed a written informed consent form prior to initiating participation in the present study. The study protocol adhered to the tenets of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board.

A repeated-measures design was used to compare the reliability of the load-velocity relationship in the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants obtained through linear and polynomial regression models. Following two familiarization sessions with both bench press variants (participants performed repetitions against different external loads to ensure a proper technique during the testing sessions), participants came to the laboratory on four occasions, twice a week, with at least 48 h of rest between them. The two sessions with the same bench press variant were performed in the same week. The order of the bench press variants was randomised. The individual load-velocity relationship was established on each testing session by means of an incremental loading test. Testing sessions were performed at the same time of the day for each participant (\pm 1 h) and under similar environmental conditions ($\sim 22^\circ$ C and $\sim 60\%$ humidity).

A standardised testing procedure was used to determine the full load-velocity relationship (García-Ramos et al., 2017). Prior to the commencement of the incremental loading test, participants performed a 10 min standardised warm-up that included jogging, dynamic stretching, joint mobility exercises, and one set of five repetitions performed against an external load of 17 kg (mass of the unloaded Smith machine barbell). The initial external load of the incremental loading test was 17 kg and was progressively increased in 10 kg increments until the attained mean velocity was lower than 0.50 m·s⁻¹. Afterwards, the load was increased in steps of one to five kg until the 1RM was determined.

For the lighter loads (mean velocity $> 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) three attempts were executed at each load, two for the medium ($0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \leq \text{mean velocity} \leq 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), and only one for the heavier loads (mean velocity $< 0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). The rest period between the repetitions performed with the same load was 10 s and 5 min were implemented between different loading conditions. Participants received velocity performance feedback immediately after each repetition and were encouraged to perform all trials at the maximal intended velocity. Participants performed the bench press using the standard five-point body contact position technique (head, upper back, and buttocks firmly on the bench with both feet flat on the floor). Participants self-selected the grip width, which was measured and kept constant throughout all testing sessions. The specific characteristics of the two bench press variants are provided below:

- *Concentric-only bench press*: a mechanical brake was used to hold the bar parallel to the participants' nipples just above ($\approx 1\text{-}2 \text{ cm}$) their chest. Participants self-selected the grip width, which was measured and kept constant throughout all testing sessions. From the initial position, participants lifted the bar as fast as possible until their elbows reached full extension.

- *Eccentric-concentric bench press*: Participants initiated the task holding the bar with their elbows fully extended. From this position, participants were instructed to perform the eccentric and concentric muscle actions as fast as possible. The bar was lowered until contacting with the participants' chest and the concentric action ended when the participants' elbows reached full extension. To minimize the risk of injury and discomfort, a bar pad was attached to the bar. A skilled investigator ensured that the bar contacted the participants' chest through the bar pad before the initiation of the concentric phase and that there was no bouncing of the bar on the chest. The trial was repeated if these requirements were not met.

Height (Seca 202, Seca Ltd., Hamburg, Germany) and body mass (Tanita BC 418 segmental, Tokyo, Japan) were assessed in the first familiarization session. The bench press was performed in a Smith machine (Technogym, Barcelona, Spain) in which the movement of the bar was restricted to the vertical direction by the two linear bearings of the Smith machine. A linear velocity transducer (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain) validated by Sánchez-Medina and González-Badillo (2011) was fixed perpendicularly to the bar of the Smith machine and sampled its vertical velocity at a frequency of 1,000 Hz. Only the repetition with the highest mean velocity of each loading condition was used for subsequent analysis. The mean velocity was calculated from the first positive velocity of the barbell (i.e., start of the concentric phase) until the velocity of the barbell is $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (i.e., when the barbell reaches maximum height). The mean velocity attained at each %1RM (in 5% increments from 20% 1RM to 100% 1RM) were obtained from the individual load-velocity relationships after applying both first-order and second-order polynomials to the data.

Descriptive data are presented as means and standard deviations. The relationship between relative load (% 1RM) and mean velocity was established by means of both linear (first-order-polynomials) and polynomial (second-order-polynomials) regression models. The goodness of fit was assessed by the Pearson's multivariate coefficient of determination (r^2) and the F-statistic. Absolute reliability was assessed through the coefficient of variation (CV). Individual CV values were calculated for each participant and separately for each % 1RM as $CV (\%) = \frac{\text{Standard deviation of sessions 1 and 2}}{\text{Mean value of sessions 1 and 2}} \times 100$. A two-way repeated measures ANOVA (bench press variant [concentric-only and eccentric-concentric] \times regression model [linear and polynomial]) with paired-samples t tests was applied on individual CV values to assess the differences in reliability between the bench press variants and regression models at each %1RM. Additionally, the CV for each %1RM was calculated using a custom spreadsheet (Hopkins, 2000) as $CV (\%) = \frac{\text{Standard error of measurement}}{\text{Participants' mean score}} \times 100$, and the ratio between two CVs was used to compare the reliability of different bench press variants and regression models. The ratio between two CVs was also used to compare the within-participants CV (calculated from the standard error of measurement as described above) and the between-participants CV ($CV (\%) = \frac{\text{Between-participants standard deviation}}{\text{Participants' mean score}} \times 100$) for each %1RM in each bench press variant and regression model tested. The smallest important ratio of CVs was considered to be higher than 1.15 (Fulton et al., 2009). Relative reliability was calculated by determining the ICC and the 95% confidence interval for each %1RM. The reliability analysis was performed by means of a custom spreadsheet (Hopkins, 2000), while SPSS (version 22.0: SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) was used for all other analyses. Alpha was set at 0.05.

Results

After plotting mean velocity against relative load (% 1RM), a strong linear relationship between both variables was observed in both the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants (Figure 1). It should be noted that the F-statistic was always higher in the linear (F-statistic range = 6687.9 to 9596.3) than in the polynomial (F-statistic range = 4098.5 to 5410.3) regression model. The individual load-velocity relationships also proved to be very strong and fairly linear either in the concentric-only bench press ($r^2 = 0.988$ [0.970, 0.998] for linear regression, and 0.995 [0.984, 0.999] for polynomial regression) and eccentric-concentric bench press ($r^2 = 0.990$ [0.964, 0.998] for linear regression, and 0.995 [0.985, 1.000] for polynomial regression).

[Figure 1]

A very high reliability for the whole load-velocity relationship (i.e., when considering together

the data of all % 1RM) was observed in both the concentric-only bench press (CV: linear regression = $4.39\% \pm 2.91\%$; polynomial regression = $4.68\% \pm 2.47\%$) and the eccentric-concentric bench press (CV: linear regression = $4.70\% \pm 3.44\%$; polynomial regression = $5.04\% \pm 2.82\%$). The two-way repeated measures ANOVAs conducted on individual CV values revealed significant main effects for “regression model” at several relative loads (20%1RM, 25%1RM, 30%1RM, 40%1RM, 65% 1RM, 70% 1RM, 75% 1RM, 80% 1RM and 85% 1RM) (Table 1). Post-hoc comparisons revealed that the reliability was higher for the polynomial regression model at 40% 1RM, but the linear regression model provided a higher reliability for the remaining relative loads. The main effect of “bench press variant” and the interaction (bench press variant \times regression model) did not reach statistical significance at any % 1RM.

[Table 1]

The ratio between two CVs was also used to determine the smallest important difference in reliability (assessed as a CV ratio > 1.15) among the four conditions tested (2 bench press variants \times 2 regression models) (Table 2). According to this criterion, the reliability of the conditions could be ranked from the highest to the lowest as: concentric-only bench press modelled by linear regression (17 positive results, 0 negative results) $>$ eccentric-concentric bench press modelled by linear regression (13 positive results, 6 negative results) $>$ concentric-only bench press modelled by polynomial regression (5 positive results, 11 negative results) $>$ eccentric-concentric bench press modelled by polynomial regression (1 positive results, 19 negative results).

[Table 2]

The ICCs for the mean velocity attained at the different relative loads (% 1RM) were significant in almost all cases (Table 3). The only exception was the mean velocity attained at 95% 1RM and 100% 1RM in the eccentric-concentric bench press modelled by a polynomial regression. The moderate magnitude of the ICCs (median ICC values from 0.73 to 0.78) implies that the load-velocity relationship may be participant-dependent (i.e., the participants who obtained a higher mean velocity value at a given % 1RM in the first testing session also tend to have higher mean velocity values at that % 1RM in the second testing session). It should be noted that the increment of the relative load was associated with a decrease of the ICC values. Similar trends in ICC values were observed for both the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants.

[Table 3]

The within-participants standard deviation was markedly lower than the between-participants standard deviation at each % 1RM (Figure 2). Specifically, the CV ratios were always higher than the smallest important threshold of 1.15 with the only exception of the CV ratio observed at 95% 1RM and 100% 1RM in the eccentric-concentric bench press modelled by a polynomial regression.

[Figure 2]

Discussion

In the present study we compared the between-session reliability of the load-velocity relationship obtained in two variants of the bench press exercise (concentric-only vs. eccentric-concentric) by two commonly applied regression models (first-order-polynomial vs. second-order-polynomial). This study provides four novel findings: (1) first-order-polynomials provide the load-velocity relationship with a higher absolute reliability than second-order-polynomials; (2) the reliability of the load-velocity relationship does not differ between the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants; (3) the significant and generally high magnitude of the ICCs (median ICC values from 0.73 to 0.78) implies that the load-velocity relationship is participant-dependent; and (4) the within-participants variability in the velocity attained at each % 1RM is markedly lower than the between-participants variability for almost all % 1RM. Taken together, these results highlight that, regardless of the bench press variant considered, the individual determination of the load-velocity relationship by a linear regression model is the most accurate method to assess strength performance during the Smith Machine bench press exercise.

The individual relationships between relative load (% 1RM) and mean velocity proved to be very strong and fairly linear for the two bench press variants ($r^2 = 0.988-0.990$). The very small amount of additional variance that could be explained by second-order-polynomials ($r^2 = 0.995$) suggests that first-order-polynomials should be preferred because of its simplicity. These results are in agreement with previous studies that have shown that the force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks is highly linear (Banyard et al., 2016; Garcia-Ramos, Jaric, Padial, & Feriche, 2016; Jaric, 2015; Jaric, 2016; Sreckovic et al., 2015). In agreement with our first hypothesis, the suitability of the linear regression to model the load-velocity relationship was further supported by its higher absolute reliability compared to the polynomial regression model (Table 1-2). To the best of our knowledge, this is the first study that has compared the reliability of the load-velocity relationship between linear and polynomial regression models. Therefore, additional studies are required to confirm whether these results can be also obtained in other exercises commonly implemented during resistance training programs.

The intraday reliability of the load-velocity relationship was already explored by Pallarés et al.

(2014) who showed lower reliability for the eccentric-concentric bench press compared to the concentric-only bench press performed both in a Smith machine. However, contrary to our second hypothesis, the between-session reliability of the load-velocity relationship obtained in the present study did not differ between the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants. It should be noted that Pallarés et al. (2014) instructed their participants to perform the eccentric phase of the eccentric-concentric bench press variant at a slow-controlled velocity ($\approx 0.45\text{--}0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), while in the present study the participants were instructed to perform the eccentric phase at a fast velocity to potentiate the stretch-shortening cycle. Therefore, we believe that the lower cognitive demands of our bench press technique (i.e., our participants were instructed to perform both the eccentric and concentric phases as fast as possible instead of performing the eccentric phase at a fixed velocity stipulated by the investigator) could have enhanced the reliability of the load-velocity relationship in the present study.

The load-velocity relationship was determined with a very high absolute reliability (mean CVs ranged between 4.4% and 5.0%; Table 2) in both bench press variants analysed in the present study. These results support the use of movement velocity to monitor relative load (%1RM) for particular participants. However, the relative reliability was also high (median ICCs ranged between 0.73 and 0.78; Table 3). It should be noted that a high ICC value is an indicative of the stability in the position of an individual within a group (Hopkins, 2000; Weir, 2005). This means that the participants that obtained higher velocities for each %1RM in the first testing session also tended to have higher velocities for each %1RM when the measurement was repeated. Therefore, the significant and moderate-high magnitude of the ICCs implies that the load-velocity relationship is participant-dependent. This result might compromise the use of general regression equations to predict relative load (%1RM) from movement velocity (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017).

To further examine whether individualised load-velocity profiling is significantly more precise than general regression equations, we compared the within-participants *vs.* the between-participants variability in the velocity attained at each %1RM. Contrary to our third hypothesis, the within-participants CV was markedly lower than the between-participants CV for all %1RM. This result is in line with recent studies that have shown pronounced between-individual differences in their force-velocity profile (Giroux et al., 2016; Jiménez-Reyes et al., 2017; Samozino et al., 2014). Based on the results of the present study, individual load-velocity profiling is recommended for a more accurate prescription of the relative loads (%1RM) in the Smith Machine bench press exercise when using the 1RM prediction method used in the present study. An additional problem associated with general regression equations that attempt to predict the relative load (%1RM) is that movement velocity can systematically differ between different devices typically used to monitor movement velocity (Balsalobre-Fernández, Kuzdub, Poveda-Ortiz, & Campo-Vecino, 2016; Balsalobre-Fernandez et al., 2017), as well as between Smith machine and free-weight exercises. Therefore, although

acknowledging that further studies are required to test this hypothesis, we believe that the two main applications of the present study (i.e., the individual load-velocity relationship should be recommended instead of generalized group equations, and the linear model should be used instead of the polynomial model) could also be applicable to other resistance training exercises.

The present study contributes to an improved understanding of the load-velocity relationship in the bench press exercise performed in a Smith machine. It should be noted that the between-session absolute reliability of the load-velocity relationship was very high regardless of the bench press variant (concentric-only and eccentric-concentric) and regression model (first-order-polynomials and second-order-polynomials) analysed. While the absolute reliability of the concentric-only and eccentric-concentric bench press variants performed in a Smith machine was similar, the linear regression model provided the load-velocity relationship with a higher reliability than the polynomial regression model. The high relative reliability also indicated that there are individual load profiles related to each participant. The existence of individual load-velocity profiles was further corroborated by the higher variability of the velocity attained at each % 1RM when obtained from the general regression compared to the individual regressions. Based on these results, we recommend the individual determination of the load-velocity relationship by a linear regression model to accurately monitor and prescribe the relative load (% 1RM) in both variants of the Smith Machine bench press exercise.

Acknowledgment

We would like to thank all the students who selflessly participated in the study.

References

1. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, Morrow JR, Jackson AW, Sjöström M, Blair SN. Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ*. 2008;337:a439.
2. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med*. 2016;46(10):1419-1449.
3. Spiering B, Kraemer W, Anderson JM, Armstrong LE, Nindl BC, Volek JS, Maresh CM. Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med*. 2008;38(7):527-540.
4. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*. 2004;34(10):663-679.
5. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler WB, Kraemer WJ, Triplett, NT. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):687-708.

6. Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):267-270.
7. Banyard HG, Nosaka K, Haff GG. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *J Strength Cond Res.* 2017;31(7):1897-1904.
8. Brzycki M. Strength testing-predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *J Phys Educ Recreat Dance.* 1993;64(1):88-90.
9. Picerno P, Iannetta D, Comotto S, Donati M, Pecoraro F, Zok M, Tollis G, Figura M, Varalda C, Di Muzio D, Patrizio F, Piacentini MF. 1RM prediction: a novel methodology based on the force-velocity and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(10):2035-2043.
10. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med.* 2010;31(5):347-352.
11. Balsalobre-Fernandez C, Marchante D, Muñoz-Lopez M, Jimenez SL. Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *J Sports Sci.* 2017. In press.
12. Bazuelo-Ruiz B, Padiá P, García-Ramos A, Morales-Artacho AJ, Miranda MT, Feriche B. Predicting maximal dynamic strength from the load-velocity relationship in squat exercise. *J Strength Cond Res.* 2015;29(7):1999-2005.
13. Conceição F, Fernandes J, Lewis M, González-Badillo JJ, Jimenez-Reyes P. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J Sports Sci.* 2016;34(12):1099-1106.
14. Picerno P. Good practice rules for the assessment of the force-velocity relationship in isoinertial resistance exercises. *Asian J Sports Med.* 2017. In press.
15. Pallarés JG, Sánchez-Medina L, Pérez CE, De La Cruz-Sánchez E, Mora-Rodríguez R. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci.* 2014;32(12):1165-1175.
16. García-Ramos A, Pestaña-Melero F, Pérez-Castilla A, Rojas F, Haff G. Differences in the load-velocity profile between four bench press variants. *Int J Sport Physiol Perform.* 2017. In press.
17. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000;30(1):1-15.
18. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):231-240.
19. Loturco I, Kobal R, Moraes JE, Kitamura K, Cal Abad CC, Pereira LA, Nakamura FY. Predicting the maximum dynamic strength in bench-press: The high-precision of the bar-velocity approach. *J Strength Cond Res.* 2017;31(4):1127-1231.
20. García-Ramos A, Pestaña-Melero F, Pérez-Castilla A, Rojas F, Haff G. Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability? *J Strength Cond Res.* 2017. In press.

21. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(9):1725-1734.
22. Hopkins WG. Calculations for reliability (Excel spreadsheet). A New View of Statistics. 2000. Accessed November 14, 2017. <http://www.sportsci.org/resource/stats/relycalc.html>.
23. Fulton SK, Pyne D, Hopkins W, Burkett B. Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. *J Sports Sci.* 2009;27(5):535-539.
24. Garcia-Ramos A, Jaric S, Padial P, Feriche B. Force-velocity relationship of upper-body muscles: traditional vs. ballistic bench press. *J Appl Biomech.* 2016;32(2):178-185.
25. Jaric S. Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *Int J Sports Med.* 2015;36(9):699-704.
26. Jaric S. Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Med.* 2016;46(11):1585-1589.
27. Sreckovic S, Cuk I, Djuric S, Nedeljkovic A, Mirkov D, Jaric S. Evaluation of force-velocity and power-velocity relationship of arm muscles. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(8):1779-1787.
28. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin JB. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Front Physiol.* 2017;7:677.
29. Giroux C, Rabita G, Chollet D, Guilhem G. Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes. *J Appl Biomech.* 2016;32(1):59-68.
30. Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin JB. Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *Int J Sports Med.* 2014;35(6):505-510.
31. Balsalobre-Fernández C, Kuzdub M, Poveda-Ortiz P, Campo-Vecino JD. Validity and reliability of the push wearable device to measure movement velocity during the back squat exercise. *J Strength Cond Res.* 2016;30(7):1968-1974.

Table 1. Two-way repeated measures ANOVAs conducted on individual coefficient of variation (CV) values at each relative load.

Load (%1RM)	Bench press variant			Regression model			Interaction		
	F	P	η^2	F	P	η^2	F	P	η^2
20	0.01	0.915	0.00	16.1	<0.001	0.36	1.03	0.319	0.03
					*				
25	0.04	0.843	0.00	13.1	0.001*	0.31	0.95	0.338	0.03
30	0.11	0.748	0.00	8.00	0.008*	0.22	0.52	0.476	0.02
35	0.14	0.708	0.01	0.53	0.473	0.02	0.00	0.951	0.00
40	0.06	0.814	0.00	7.44	0.011*	0.20	0.01	0.934	0.00
45	0.02	0.903	0.00	1.59	0.217	0.05	0.08	0.774	0.00
50	0.02	0.903	0.00	0.02	0.903	0.00	0.02	0.896	0.00
55	0.23	0.632	0.01	1.04	0.316	0.04	0.01	0.920	0.00

60	0.50	0.485	0.02	3.28	0.080	0.10	0.00	0.987	0.00
65	0.82	0.374	0.03	5.46	0.027*	0.16	0.02	0.881	0.00
70	0.95	0.337	0.03	6.92	0.013*	0.19	0.08	0.783	0.00
75	0.92	0.346	0.03	7.37	0.011*	0.20	0.11	0.740	0.00
80	0.75	0.393	0.03	7.69	0.010*	0.21	0.09	0.764	0.00
85	0.49	0.490	0.02	12.2	0.002*	0.30	0.05	0.821	0.00
90	0.25	0.618	0.01	3.66	0.066	0.11	0.03	0.856	0.00
95	0.08	0.780	0.00	0.26	0.613	0.01	0.08	0.774	0.00
100	0.05	0.818	0.00	0.90	0.352	0.03	0.10	0.755	0.00

IRM, one-repetition maximum; F, Snedecor's F; P, P-value; η^2 , partial eta squared. *, significant differences.

Table 2. Comparison of the within-participants coefficient of variation (CV) at each relative load between the bench press variants and regression models.

Load (% 1RM)	Concentric-only bench press		Eccentric-concentric bench press	
	Linear	Polynomial	Linear	Polynomial
20	3.21% ^{b,d}	3.97%	2.85% ^{b,d}	4.05%
25	3.16%	3.59%	2.84% ^{b,d}	3.55%
30	3.10%	3.27%	2.83% ^b	3.13%
35	3.05%	3.04%	2.82%	2.83%
40	3.00%	2.92%	2.83%	2.70%
45	2.95%	2.92%	2.85%	2.75%
50	2.91%	3.02%	2.89%	2.97%
55	2.89%	3.22%	2.97%	3.32%
60	2.91% ^{b,d}	3.49%	3.08% ^d	3.75%
65	2.98% ^{b,d}	3.80%	3.27% ^{b,d}	4.24%
70	3.14% ^{b,d}	4.14%	3.55% ^{b,d}	4.75%
75	3.45% ^{b,c,d}	4.50% ^d	3.98% ^d	5.28%
80	3.98% ^{b,c,d}	4.92% ^d	4.63% ^d	5.84%
85	4.87% ^{c,d}	5.50% ^d	5.63% ^d	6.51%
90	6.34% ^d	6.50%	7.23%	7.46%
95	8.89%	8.45% ^c	10.02%	9.26%
100	13.86%	12.37% ^c	15.67%	13.30% ^c
ALL	4.39 ± 2.91	4.68 ± 2.47	4.70 ± 3.44	5.04 ± 2.82

^a, significantly more reliable than the concentric-only bench press modelled by linear regression; ^b, significantly more reliable than the concentric-only bench press modelled by polynomial regression; ^c, significantly more reliable than the eccentric-concentric bench press modelled by linear regression; ^d, significantly more reliable than the eccentric-concentric bench press modelled by polynomial regression. Significance was defined as a CV ratio > 1.15. 1RM, one-repetition maximum; ALL, mean ± standard deviation value obtained from the full load-velocity relationship.

Table 3. Intraclass correlation coefficients with 95% confidence intervals obtained at each relative load for each bench press variant and regression model.

Load (% 1RM)	Concentric-only bench press		Eccentric-concentric bench press	
	Linear	Polynomial	Linear	Polynomial
20	0.78 (0.59, 0.89)	0.69 (0.45, 0.84)	0.76 (0.56, 0.88)	0.64 (0.37, 0.81)
25	0.78 (0.60, 0.89)	0.73 (0.50, 0.86)	0.76 (0.56, 0.88)	0.68 (0.42, 0.83)
30	0.79 (0.60, 0.89)	0.76 (0.55, 0.88)	0.76 (0.56, 0.88)	0.72 (0.49, 0.86)
35	0.79 (0.60, 0.89)	0.78 (0.59, 0.89)	0.76 (0.56, 0.88)	0.77 (0.57, 0.88)
40	0.79 (0.60, 0.89)	0.80 (0.63, 0.90)	0.76 (0.56, 0.88)	0.80 (0.62, 0.90)
45	0.79 (0.60, 0.89)	0.81 (0.65, 0.91)	0.76 (0.55, 0.88)	0.82 (0.65, 0.91)
50	0.79 (0.60, 0.89)	0.81 (0.65, 0.91)	0.75 (0.54, 0.87)	0.82 (0.66, 0.91)
55	0.78 (0.59, 0.89)	0.81 (0.64, 0.90)	0.74 (0.53, 0.87)	0.81 (0.64, 0.91)
60	0.78 (0.58, 0.89)	0.80 (0.62, 0.90)	0.73 (0.51, 0.86)	0.80 (0.62, 0.90)
65	0.77 (0.57, 0.88)	0.78 (0.59, 0.89)	0.71 (0.48, 0.85)	0.78 (0.59, 0.89)

70	0.75 (0.54, 0.87)	0.76 (0.56, 0.88)	0.69 (0.45, 0.84)	0.76 (0.55, 0.88)
75	0.73 (0.50, 0.86)	0.74 (0.52, 0.87)	0.66 (0.40, 0.82)	0.73 (0.50, 0.86)
80	0.70 (0.46, 0.84)	0.71 (0.47, 0.85)	0.63 (0.36, 0.81)	0.68 (0.44, 0.84)
85	0.67 (0.41, 0.83)	0.66 (0.40, 0.82)	0.60 (0.31, 0.79)	0.61 (0.32, 0.79)
90	0.65 (0.38, 0.82)	0.59 (0.30, 0.78)	0.57 (0.27, 0.77)	0.45 (0.11, 0.69)
95	0.64 (0.36, 0.81)	0.51 (0.19, 0.73)	0.55 (0.25, 0.76)	0.14 (-0.23, 0.47)
100	0.64 (0.36, 0.81)	0.47 (0.14, 0.71)	0.54 (0.24, 0.75)	-0.05 (-0.40, 0.31)
ALL	0.78 (0.64, 0.79)	0.76 (0.47, 0.81)	0.73 (0.54, 0.76)	0.73 (-0.05, 0.82)

1RM, one-repetition maximum; ALL, median (range) obtained from the full load-velocity relationship.

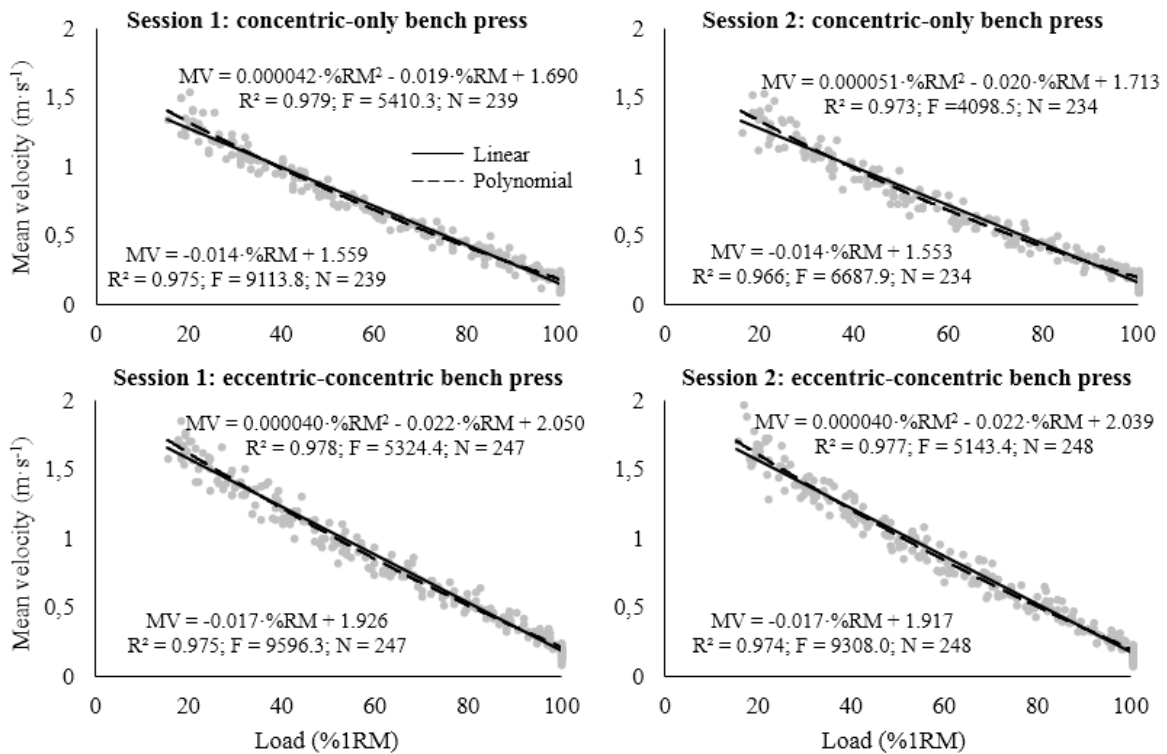


Figure 1 — Relationship between relative load (%RM) and mean velocity in the concentric-only (upper panels) and eccentric-concentric bench press (lower panels) observed in the first (left panels) and second (right panels) testing sessions. The linear (solid line) and polynomial (dashed line) regression lines are depicted. R², Pearson's multivariate coefficient of determination; F, F statistic; N = number of trials included in the regression analysis.

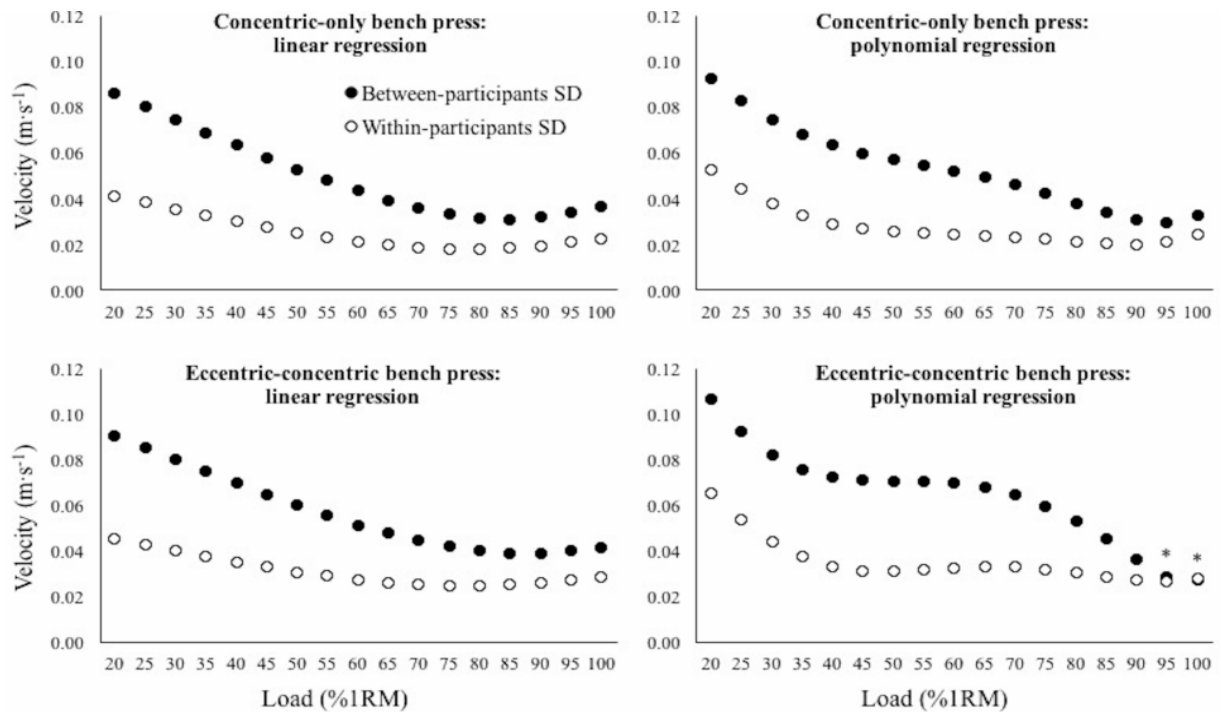


Figure 2 — Within-participants (empty circle) and between-participants (filled circle) standard deviation (SD) of the mean velocity attained at each percentage of the one-repetition maximum (%1RM) in the concentric-only (upper panels) and eccentric-concentric bench press (lower panels) obtained from linear (left panels) and polynomial (right panels) regression models. *, CV ratio between within- and between-participants CVs < 1.15.

ESTUDIO IV. VERSIÓN EN INGLÉS

Amador García-Ramos, Francisco Luis Pestaña-Melero, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, Guy Gregory Haff. Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018; 32(5): 1273-1279.

doi: 10.1519/JSC.0000000000001998.

ABSTRACT

This study aimed to compare between three velocity variables (mean velocity [MV], mean propulsive velocity [MPV], and peak velocity [PV]): (I) the linearity of the load-velocity relationship, (II) the accuracy of general regression equations to predict relative load (% 1RM), and (III) the between-session

reliability of the velocity attained at each percentage of the one-repetition maximum (% 1RM). The full load-velocity relationship of 30 men were evaluated by means of linear regression models in the concentric-only and eccentric-concentric bench press throw (BPT) variants performed with a Smith Machine. The two sessions of each BPT variant were performed within the same week separated by 48-72 hours. The main findings were: (I) the MV showed the strongest linearity of the load-velocity relationship (median $r^2 = 0.989$ for concentric-only BPT and 0.993 for eccentric-concentric BPT), followed by MPV (median $r^2 = 0.983$ for concentric-only BPT and 0.980 for eccentric-concentric BPT), and finally PV (median $r^2 = 0.974$ for concentric-only BPT and 0.969 for eccentric-concentric BPT); (II) the accuracy of the general regression equations to predict relative load (% 1RM) from movement velocity was higher for MV (SEE = 3.80–4.76% 1RM) than for MPV (SEE = 4.91–5.56% 1RM) and PV (SEE = 5.36–5.77% 1RM); and (III) the PV showed the lowest within-subjects CV (3.50%–3.87%), followed by MV (4.05%–4.93%), and finally MPV (5.11%–6.03%). Taken together, these results suggest that the MV could be the most appropriate variable for monitoring the relative load (% 1RM) in the BPT exercise performed in a Smith machine.

Key Words: relative load, one-repetition maximum, concentric-only, stretch-shortening cycle.

INTRODUCTION

The load-velocity relationship has emerged as a method for objectively monitoring and prescribing resistance training intensity (González-Badillo et al., 2011; Jovanovic & Flanagan, 2014; Mann et al., 2015). Previous studies have revealed that the load-velocity relationship obtained from a variety of resistance training exercises involving both lower and upper body muscles is strong and fairly linear (Bazuelo-Ruiz et al., 2015; Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Muñoz-López, Marchante, Cano-Ruiz, López-Chicharro, & Balsalobre-Fernández, 2017; Picerno et al., 2016). These results suggest that movement velocity can be used to accurately predict the relative load (i.e., the percent of the one-repetition maximum; % 1RM) of basic resistance training exercises commonly included in resistance training programs (e.g., squat, bench press, leg press, prone pull-up, etc.) (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina,

2010; Muñoz-López et al., 2017). Despite the encouraging results presented above, we should acknowledge that velocity based training is still a relatively underexplored approach for monitoring resistance training sessions. In this regard, a number of methodological issues related to the velocity based training approach, and particularly regarding to the load-velocity relationship, still remain to be evaluated.

One of the most important methodological issues related to the velocity based training approach could be the selection of the velocity variable used for modelling the load-velocity relationship. Mean velocity (MV; average velocity from the start of the concentric phase until the bar reaches the maximum height), mean propulsive velocity (MPV; average velocity from the start of the concentric phase until the acceleration of the bar is lower than gravity [$-9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$]) and peak velocity (PV: maximum instantaneous velocity value reached during the concentric phase) could be used to determine the load-velocity relationship (Conceição et al., 2016; García-Ramos, Haff, Padial, & Feriche, 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Of interest would be to identify the velocity variable which provides the general load-velocity equation commonly reported to estimate relative load (%1RM) from movement velocity with the highest precision (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014). In addition, since the load-velocity relationship could be subject-dependent (Banyard et al., 2016; Helms et al., 2016; Jiménez-Reyes et al., 2017), it is also of interest to elucidate which velocity variable can provide the load-velocity relationship with the highest between-sessions reliability.

The bench press has been the exercise most commonly utilized to explore the load-velocity relationship of upper-body muscles (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014). The load-velocity relationship in the bench press exercise has been explored by both linear and polynomial regression models (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011). However, there is increasing evidence that the load- and force-velocity relationships of multi-joint exercises are highly linear (Conceição et al., 2016; Jaric, 2015; Jidovtseff et al., 2011). Therefore, the velocity variable that provides the most linear load-velocity relationship could be recommended. Although the load-velocity relationship in the traditional bench

press exercise has been widely explored (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Loturco, Kobal, et al., 2017; Picerno et al., 2016; Sánchez-Medina et al., 2014), there is a shortage of knowledge regarding the possibility of using the load-velocity relationship in the bench press throw (BPT) exercise, which is the ballistic variant of this exercise. The concentric-only and eccentric-concentric BPT exercises are commonly used in resistance training programs. Therefore, it would be of interest to determine the feasibility of the three different velocity variables (MV, MPV and PV) to determine the load-velocity relationship using the concentric-only and eccentric-concentric BPT variants.

To address the methodological issues discussed above, we determined on repeated occasions the BPT (two variants: concentric-only and eccentric-concentric) load-velocity relationship in a Smith machine using three types of velocity variables: MV, MPV and PV. Specifically, the present study aimed to compare between the three velocity variables: (I) the linearity of the load-velocity relationship, (II) the accuracy of the general regression equations to predict relative load (% 1RM) from movement velocity, and (III) the between-session reliability of the velocity attained at each % 1RM.

METHOD

Experimental approach to the problem

A repeated-measures design was used to compare the linearity, accuracy and reliability of the load-velocity relationship obtained from three velocity variables (MV, MPV and PV) in the concentric-only and eccentric-concentric BPT variants. Following two familiarization sessions, subjects came to the laboratory on four occasions, twice a week, with at least 48 h of rest between each session. The two sessions with the same BPT variant were performed in the same week. The order of the BPT variants was randomized. During each testing session, the individual load-velocity relationship was determined by means of an incremental loading test following a standard procedure (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Testing sessions were performed at the same time of the day for each subject (± 1 h) and under similar environmental conditions ($\sim 22^\circ$ C and $\sim 60\%$ humidity).

Subjects

Thirty collegiate men with at least two years of resistance training experience volunteered to participate in this study (mean \pm SD: age = 21.2 ± 3.8 years [range: 18–31 years]; body mass: 72.3 ± 7.3 kg; body height = 1.78 ± 0.07 m; body mass index = 22.8 ± 1.9 kg·m⁻²). Subjects were instructed to avoid any strenuous exercise over the course of the study and all of them were informed of the benefits and risks of the investigations prior to signing an institutionally approved informed consent document to participate in this study. The study protocol adhered to The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) and was approved by the Institutional Review Board.

Testing procedure

Each testing session began with a 10 min standardized warm-up, which included jogging, dynamic stretching, joint mobility exercises, and one set of five repetitions performed in an explosive manner with an external load of 17 kg in the assessed exercise (concentric-only or eccentric-concentric BPT variant). After warming up, subjects rested for five minutes. The initial external load of the incremental loading test was set at 17 kg and was progressively increased in 10 kg increments until the attained MPV was lower than 0.50 m·s⁻¹. From that moment, the load was progressively increased in steps of five to one kg until the 1RM strength was determined. The magnitude of the increment was decided by the chief investigator after reaching a consensus with the subject. For the lighter loads (MPV > 1.0 m·s⁻¹) three attempts were executed at each load, two for the medium (0.65 m·s⁻¹ \leq MPV \leq 1.0 m·s⁻¹), and only one for the heavier loads (MPV < 0.65 m·s⁻¹). The rest period between the repetitions performed with the same load was 10 s and 5 min were implemented between different loading conditions. Two trained spotters were always present at both sides of the Smith machine bar in order to catch the bar during its downward movement. Subjects received velocity performance feedback immediately after each repetition to encourage them to give maximal effort. Subjects were instructed to avoid any strenuous exercise two days before each testing session.

Subjects performed the BPT using the standard five-point body contact position technique (head, upper back, and buttocks firmly on the bench with both feet flat on the floor). Subjects self-

selected the grip width, which was measured and kept constant throughout all testing sessions. The specific characteristics of the two BPT variants evaluated are provided below:

- *Concentric-only bench press throw*: a mechanical brake was used to hold the bar parallel to the subjects' nipples just above ($\approx 1-2$ cm) their chest. From the initial position, subjects were instructed to throw the bar as high as possible. When heavy loads were reached and the bar could not be thrown ($\approx 75\%1RM$), the subjects were instructed to complete the test using the traditional concentric-only bench press variant at the maximum possible velocity.

- *Eccentric-concentric bench press throw*: Subjects initiated the task holding the bar with their elbows fully extended. From this position, subjects were instructed to perform the eccentric and concentric muscle actions as fast as possible. The bar was lowered until contacting with the subjects' chest. The concentric phase was performed at the maximum possible velocity with the intention of throwing the bar as high as possible. When heavy loads were reached and the bar could not be thrown ($\approx 75\%1RM$), the subjects were instructed to complete the test using the traditional eccentric-concentric bench press variant at the maximum possible velocity.

Measurement equipment and data analysis

Height (Seca 202, Seca Ltd., Hamburg, Germany) and body mass (Tanita BC 418 segmental, Tokyo, Japan) were assessed in the first familiarization session. A Smith machine (Technogym, Barcelona, Spain) was used in all testing sessions coupled with a linear velocity transducer (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain) which directly sampled movement velocity with a frequency of 1,000 Hz. Three velocity variables were calculated in the present study:

- *Mean velocity (MV)*: mean velocity value from the start of the concentric phase until the bar reaches the maximum height.
- *Mean propulsive velocity (MPV)*: mean velocity value from the start of the concentric phase until the acceleration of the bar is lower than gravity ($-9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (Sanchez-Medina et al., 2010).
- *Peak velocity (PV)*: maximum instantaneous velocity value reached during the concentric phase at a given load.

Only the repetition with the highest velocity value (MV, MPV or PV was used as the criterion for their respective load-velocity relationships) of each loading condition was used for subsequent analysis. The MV, MPV and PV attained at each %1RM (in 5% increments from 20%1RM to 100%1RM) were obtained from the individual load-velocity relationships after applying first-order polynomials to the data.

Statistical analyses

Data are presented as means and standard deviations, while the Pearson's multivariate coefficient of determination (r^2) is presented through their median values and ranges. The relationship between relative load (%1RM) and velocity variables (MV, MPV and PV) was established by means of linear regression models (Banyard et al., 2016; Conceição et al., 2016). The goodness of fit of the linear regressions was assessed by r^2 and the standard error of the estimate (SEE). The Fisher's Z-transformed Pearson's correlation coefficients (r) of the individual load-velocity relationships were compared through a two-way repeated measures ANOVA (variable type [MV vs. MPV vs. PV] \times BPT variant [concentric-only vs. eccentric-concentric]) with Bonferroni post-hoc tests. The reliability of the load-velocity relationships was assessed by the coefficient of variation (CV) (Hopkins, 2000). The ratio between two CVs was used to compare the reliability of the load-velocity relationship among the three velocity variables. The smallest important ratio of CVs was considered to be higher than 1.15 (Fulton et al., 2009). The reliability analysis was performed by means of a custom spreadsheet (Hopkins, 2000), while SPSS (version 22.0: SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) was used for all other analyses. Alpha was set at 0.05.

RESULTS

Regardless of the variable analyzed, the individual load-velocity relationships proved to be very strong for the concentric-only BPT (median [range]: $r^2 = 0.989$ [0.957, 0.999] for MV, 0.983 [0.942, 0.998] for MPV, and 0.974 [0.954, 0.997] for PV) and the eccentric-concentric BPT (median [range]: $r^2 = 0.993$ [0.969, 0.999] for MV, 0.980 [0.947, 0.998] for MPV, and 0.969 [0.941, 0.996] for PV).

Regarding the comparison of the strength of the load-velocity relationships, the two-way repeated measures ANOVA conducted on Fisher's Z transformed individual correlation coefficients (r) revealed significant main effect for the type of variable ($F = 160.8, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.732$), but the main effect of the BPT variant did not reach statistical significance ($F = 0.1, P = 0.784, \eta_p^2 = 0.001$). The interaction term was also significant ($F = 34.3, P < 0.001, \eta_p^2 = 0.367$). Bonferroni post-hoc comparisons revealed that the strength of the load-velocity relationship was higher for MV, followed by MPV, and finally PV (Figure 1).

Insert Figure 1 about here

After plotting velocity variables (MV, MPV and PV) against relative load (%1RM), a very close linear relationship was observed in both the concentric-only and eccentric-concentric BPT exercises (Figure 2). The following general regression equations could be proposed to estimate relative load (%1RM) in the concentric-only BPT from MV (%1RM = $-64.78 \cdot MV + 108.6, r^2 = 0.969, SEE = 4.76\%$), MPV (%1RM = $-57.02 \cdot MPV + 105.8, r^2 = 0.957, SEE = 5.56\%$), and PV (%1RM = $-34.90 \cdot PV + 111.8, r^2 = 0.960, SEE = 5.36\%$). The following general regression equations were obtained in the eccentric-concentric BPT for MV (%1RM = $-56.09 \cdot MV + 109.5, r^2 = 0.981, SEE = 3.80\%$), MPV (%1RM = $-44.57 \cdot MPV + 104.6, r^2 = 0.967, SEE = 4.91\%$), and PV (%1RM = $-34.77 \cdot PV + 109.9, r^2 = 0.955, SEE = 5.77\%$). The velocity values associated with each %1RM in both BPT variants are depicted in Table 1.

Insert Figure 2 about here

Insert Table 1 about here

The ratio between two CVs was used to determine the smallest important difference in reliability (assessed as a CV ratio > 1.15) among the three velocity variables independently for the concentric-only (Table 2) and the eccentric-concentric BPT variants (Table 3). Regardless of the

exercise considered, the MPV tended to be the less reliable variable and the PV the most reliable variable.

Insert Table 2 about here

Insert Table 3 about here

DISCUSSION

In the present study we explored and compared the feasibility of three velocity variables (MV, MPV and PV) to determine the load-velocity relationship in the concentric-only and eccentric-concentric BPT exercises performed in a Smith machine. The three velocity variables provided fairly linear and highly reliable load-velocity relationships. The comparison between the velocity variables revealed that: (I) the MV showed the strongest linearity of the load-velocity relationship, followed by MPV, and finally PV; (II) the accuracy of the general regression equations to predict relative load (%1RM) from movement velocity was higher for MV (SEE = 3.80–4.76% 1RM) than for MPV (SEE = 4.91–5.56% 1RM) and PV (SEE = 5.36–5.77% 1RM); and (III) the PV showed the lowest within-subjects CV (3.50%–3.87%), followed by MV (4.05%–4.93%), and finally MPV (5.11%–6.03%). Taken together, these results suggest that the MV is the most appropriate variable for monitoring the relative load (% 1RM) in the BPT exercise.

The three velocity variables assessed in the present study have been previously used in the scientific literature to explore the load-velocity relationship. Supporting the results obtained for other resistance training exercises, our results confirmed both the linearity of the load-velocity relationship as well as the high precision of the general regression equations to predict relative load (% 1RM) in the BPT exercise performed in a Smith machine (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Muñoz-López et al., 2017; Sánchez-Moreno, Rodríguez-Rosell, Pareja-Blanco, Mora-Custodio, & González-Badillo, 2017). The between-sessions reliability of the velocity attained at each %1RM has been less studied. To our knowledge, only Sánchez-Moreno et al. (2017) has explored the within-subjects CV of the MPV obtained at each %1RM. Sánchez-Moreno

et al. (2017) reported an average CV of 6.2% for relative loads ranging between the 65% 1RM and 95% 1RM in the pull-up exercise. For the same range of relative loads, in the present study we observed lower CVs (MV = 5.2%; MPV = 5.9%; PV = 4.4%). The higher reliability in our study might be explained by the use of a Smith machine or because the BPT technique is simpler than the pull-up exercise. However, it should be also noted that the two evaluations conducted by Sánchez-Moreno et al. (2017) were separated by a training period of 12 weeks.

Although the bench press has been the exercise most utilized to explore the load-velocity relationship (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Loturco, Kobal, et al., 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Picerno et al., 2016; Sánchez-Medina et al., 2014), no previous study has compared the linearity of the load-velocity relationship and its reliability between different velocity variables. While it is true that the three velocity variables (MV, MPV and PV) provided a fairly linear load-velocity relationship (all $r^2 > 0.95$), our results suggest that MV is the variable that can provide the load-velocity with the highest linearity. The high linearity of the load-velocity relationship is in agreement with previous studies that have shown that the force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks is also highly linear (Jaric, 2015), particularly in the bench press exercise (Garcia-Ramos et al., 2016; Sreckovic et al., 2015). Based on our results, the MV seems to be the most appropriate variable for modelling the load-velocity relationship through first-order polynomials in the BPT exercise performed in a Smith machine. Note that the MV provided the most linear load-velocity relationship in the two BPT variants examined in the present study.

The MV was not only the variable that revealed the most linear load-velocity relationship, but it was also the variable that provided the most accurate general equation to predict the relative load (% 1RM). Several studies have provided general equations to predict the %1RM from the velocity recorded in a repetition performed with maximal voluntary velocity (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Muñoz-López et al., 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014; Sánchez-Moreno et al., 2017). Contrary to our results, González-Badillo & Sánchez-Medina (2010) revealed that the error of the general equation was slightly lower for MPV

(SEE = 3.56% 1RM) than for MV (SEE = 3.77% 1RM) in the concentric-only bench press exercise performed in a Smith machine. These authors have also suggested that MPV should be used instead of MV because it is a better indicative of an individual's true neuromuscular potential, particularly when lifting light and medium loads (Sanchez-Medina et al., 2010). Although further comparisons about the feasibility of MV and MPV variables in other resistance training exercises are needed, the MV could be preferable because it is easy to measure with data collected from most linear transducer as well as in other devices (mobile app, accelerometers, etc.) (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017).

To our knowledge, this is the first study that has compared the between-session reliability of the velocity attained at each %1RM between MV, MPV and PV variables. In line with the higher linearity of the load-velocity relationship and the higher accuracy of the general regression equations, the between-session reliability of the velocity attained at each %1RM was also higher for MV when compared to MPV. The higher reliability of MV was especially remarkable for the light and medium loads (20–70% 1RM), which represent the range of loads with larger braking phases (Sanchez-Medina et al., 2010). Although the lowest within-subject CV was observed for PV, we believe that MV could be a more appropriate variable to predict the %1RM in the BPT exercise performed in a Smith machine. Note that the standard error of the measurement was higher for PV than for MV. In this regard, the lower CV values observed for PV was caused by the higher average score at each %1RM when compared to MV ($CV (\%) = \frac{\text{Standard error of measurement}}{\text{Subjects' average score}} \times 100$).

PRACTICAL APPLICATIONS

The results of the present study confirm the linearity, accuracy and reliability of the load-velocity relationship obtained from three velocity variables (MV, MPV and PV) in the concentric-only and eccentric-concentric BPT variants performed in a Smith machine. MV proved to be a more appropriate variable than MPV based on (I) the higher linearity of the load-velocity relationship, (II) higher accuracy of the general regression equations, and (III) higher between-session reliability of the velocity

attained at each %1RM. Although the PV was the variable with the lowest within-subject CV, its feasibility could be somewhat compromised by the weaker linearity of the load-velocity relationship as well as the lower precision of the general equations. Taken together, we recommend the MV variable for an accurate monitoring of the relative load (%1RM) in the BPT exercise performed in a Smith machine.

REFERENCES

1. Balsalobre-Fernandez, C, Marchante, D, Muñoz-Lopez, M, and Jimenez, SL. Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *J Sports Sci*, 2017, Epub ahead of print.
2. Banyard, HG, Nosaka, K, and Haff, GG. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *J Strength Cond Res*, 2016, Epub ahead of print.
3. Banyard, HG, Nosaka, K, Sato, K, and Haff, G. Validity of various methods for determining velocity, force and power in the back squat. *Int J Sports Physiol Perform*, 2017, Epub ahead of print.
4. Bazuelo-Ruiz, B, Padial, P, García-Ramos, A, Morales-Artacho, AJ, Miranda, MT, and Feriche, B. Predicting maximal dynamic strength from the load-velocity relationship in squat exercise. *J Strength Cond Res* 29: 1999–2005, 2015.
5. Conceição, F, Fernandes, J, Lewis, M, González-Badillo, JJ, and Jimenéz-Reyes, P. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J Sports Sci* 34: 1099–1106, 2016.
6. Fulton, SK, Pyne, D, Hopkins, W, and Burkett, B. Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. *J Sports Sci* 27: 535–539, 2009.
7. García-Ramos, A, Haff, GG, Padial, P, and Feriche, B. Optimal load for maximizing upper-body power: test-retest reliability. *Isokinet Exerc Sci* 24: 115–124, 2016.
8. Garcia-Ramos, A, Jaric, S, Padial, P, and Feriche, B. Force-velocity relationship of upper-body muscles: traditional vs. ballistic bench press. *J Appl Biomech* 32: 178–185, 2016.
9. González-Badillo, JJ, Marques, MC, and Sánchez-Medina, L. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J Hum Kinet* 29: 15–19, 2011.
10. González-Badillo, JJ and Sánchez-Medina, L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 31: 347–352, 2010.
11. Helms, ER, Storey, A, Cross, MR, Brown, SR, Lenetsky, S, Ramsay, H, et al. RPE and

- velocity relationships for the back squat, bench press, and deadlift in powerlifters. *J Strength Cond Res* 31, 292–297, 2017.
12. Hopkins, W. Calculations for reliability (Excel spreadsheet). A new view of statistics, 2000. Available from: <http://www.sportsci.org/resource/stats/relycalc.html#excel>.
 13. Hopkins, W. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1–15, 2000.
 14. Jaric, S. Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *Int J Sports Med* 36: 699–704, 2015.
 15. Jidovtseff, B, Harris, NK, Crielaard, JM, and Cronin, JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res* 25: 267–270, 2011.
 16. Jiménez-Reyes, P, Samozino, P, Brughelli, M, and Morin, J-B. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Front Physiol* 7: 677, 2017.
 17. Jovanonic, M and Flanagan, EP. Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond* 22: 58–69, 2014.
 18. Loturco, I, Kobal, R, Moraes, JE, Kitamura, K, Cal Abad, CC, Pereira, LA, et al. Predicting the maximum dynamic strength in bench-press: The high-precision of the bar-velocity approach. *J Strength Cond Res* 31: 1127–1231, 2017.
 19. Mann, J, Ivey, P, and Sayers, S. Velocity-based training in football. *Strength Cond J* 37: 52–57, 2015.
 20. Muñoz-López, M, Marchante, D, Cano-Ruiz, M, López-Chicharro, J, and Balsalobre-Fernández, C. Load, force and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 2017, Epub ahead of print.
 21. Pallarés, JG, Sánchez-Medina, L, Pérez, CE, De La Cruz-Sánchez, E, and Mora-Rodríguez, R. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci* 32: 1165–75, 2014.
 22. Picerno, P, Iannetta, D, Comotto, S, Donati, M, Pecoraro, F, Zok, M, et al. 1RM prediction: a novel methodology based on the force-velocity and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol* 116: 2035–2043, 2016.
 23. Sánchez-Medina, L, González-Badillo, JJ, Pérez, CE, and Pallarés, JG. Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int J Sports Med* 35: 209–216, 2014.
 24. Sanchez-Medina, L, Perez, CE, and Gonzalez-Badillo, JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med* 31: 123–129, 2010.
 25. Sánchez-Moreno, M, Rodríguez-Rosell, D, Pareja-Blanco, F, Mora-Custodio, R, and González-Badillo, JJ. Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 2017, Epub ahead of print.
 26. Sreckovic, S, Cuk, I, Djuric, S, Nedeljkovic, A, Mirkov, D, and Jaric, S. Evaluation of

force–velocity and power–velocity relationship of arm muscles. *Eur J Appl Physiol* 115: 1779–1787, 2015.

Table 1. Mean velocity (MV), mean propulsive velocity (MPV) and peak velocity (PV) values associated with each relative load (% 1RM) in the concentric-only and eccentric-concentric bench press throw (BPT) exercises.

Load (% 1RM)	Concentric-only BPT			Eccentric-concentric BPT		
	MV (m·s ⁻¹)	MPV (m·s ⁻¹)	PV (m·s ⁻¹)	MV (m·s ⁻¹)	MPV (m·s ⁻¹)	PV (m·s ⁻¹)
20	1.35 ± 0.08	1.47 ± 0.11	2.58 ± 0.12	1.59 ± 0.06	1.87 ± 0.08	2.52 ± 0.12
25	1.27 ± 0.08	1.39 ± 0.11	2.44 ± 0.11	1.50 ± 0.06	1.76 ± 0.07	2.39 ± 0.11
30	1.20 ± 0.07	1.30 ± 0.10	2.31 ± 0.11	1.41 ± 0.06	1.65 ± 0.07	2.25 ± 0.10
35	1.12 ± 0.07	1.22 ± 0.09	2.17 ± 0.10	1.32 ± 0.06	1.54 ± 0.07	2.11 ± 0.10
40	1.05 ± 0.06	1.14 ± 0.09	2.03 ± 0.10	1.24 ± 0.05	1.43 ± 0.06	1.98 ± 0.09
45	0.97 ± 0.06	1.05 ± 0.08	1.89 ± 0.09	1.15 ± 0.05	1.33 ± 0.06	1.84 ± 0.08
50	0.90 ± 0.06	0.97 ± 0.07	1.76 ± 0.09	1.06 ± 0.05	1.22 ± 0.06	1.70 ± 0.08
55	0.82 ± 0.05	0.89 ± 0.07	1.62 ± 0.08	0.97 ± 0.05	1.11 ± 0.06	1.56 ± 0.07
60	0.75 ± 0.05	0.80 ± 0.06	1.48 ± 0.08	0.89 ± 0.05	1.00 ± 0.05	1.43 ± 0.07
65	0.68 ± 0.04	0.72 ± 0.05	1.34 ± 0.08	0.80 ± 0.05	0.89 ± 0.05	1.29 ± 0.07
70	0.60 ± 0.04	0.63 ± 0.05	1.21 ± 0.08	0.71 ± 0.05	0.78 ± 0.05	1.15 ± 0.07
75	0.53 ± 0.04	0.55 ± 0.04	1.07 ± 0.08	0.62 ± 0.04	0.67 ± 0.05	1.02 ± 0.07
80	0.45 ± 0.04	0.47 ± 0.04	0.93 ± 0.08	0.53 ± 0.04	0.57 ± 0.05	0.88 ± 0.07
85	0.38 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.79 ± 0.08	0.45 ± 0.04	0.46 ± 0.05	0.74 ± 0.07
90	0.30 ± 0.03	0.30 ± 0.04	0.66 ± 0.08	0.36 ± 0.04	0.35 ± 0.05	0.61 ± 0.08
95	0.23 ± 0.03	0.21 ± 0.04	0.52 ± 0.09	0.27 ± 0.04	0.24 ± 0.05	0.47 ± 0.08
100	0.15 ± 0.03	0.13 ± 0.04	0.38 ± 0.09	0.18 ± 0.05	0.13 ± 0.05	0.33 ± 0.09

Mean ± standard deviation. 1RM, one-repetition maximum.

Table 2. Comparison of the coefficient of variation (CV) and 95% confidence interval at each relative load (% 1RM) between the different velocity variables in the concentric-only bench press throw exercise.

Load (% 1RM)	Type of variable		
	Mean velocity	Mean propulsive velocity	Peak velocity
20	3.34% (2.66%–4.48%) ^b	4.74% (3.78%–6.37%)	2.51% (2.00%–3.38%) ^{a,b}

25	3.33% (2.65%–4.47%) ^b	4.70% (3.74%–6.32%)	2.50% (1.99%–3.36%) ^{a,b}
30	3.32% (2.64%–4.46%) ^b	4.66% (3.71%–6.26%)	2.49% (1.98%–3.35%) ^{a,b}
35	3.32% (2.64%–4.46%) ^b	4.61% (3.67%–6.20%)	2.49% (1.98%–3.35%) ^{a,b}
40	3.32% (2.65%–4.47%) ^b	4.56% (3.64%–6.14%)	2.50% (1.99%–3.36%) ^{a,b}
45	3.34% (2.66%–4.49%) ^b	4.52% (3.60%–6.07%)	2.52% (2.00%–3.38%) ^{a,b}
50	3.37% (2.68%–4.53%) ^b	4.48% (3.56%–6.02%)	2.55% (2.03%–3.43%) ^{a,b}
55	3.42% (2.73%–4.60%) ^b	4.44% (3.54%–5.97%)	2.62% (2.09%–3.52%) ^{a,b}
60	3.51% (2.80%–4.72%) ^b	4.42% (3.52%–5.94%)	2.72% (2.17%–3.66%) ^{a,b}
65	3.65% (2.91%–4.91%) ^b	4.43% (3.53%–5.96%)	2.88% (2.29%–3.87%) ^{a,b}
70	3.87% (3.08%–5.21%) ^b	4.50% (3.59%–6.05%)	3.11% (2.48%–4.18%) ^{a,b}
75	4.21% (3.36%–5.67%)	4.68% (3.73%–6.29%)	3.46% (2.75%–4.65%) ^{a,b}
80	4.75% (3.78%–6.39%)	5.07% (4.04%–6.82%)	3.97% (3.16%–5.33%) ^{a,b}
85	5.60% (4.46%–7.53%)	5.85% (4.66%–7.87%)	4.72% (3.76%–6.35%) ^{a,b}
90	7.02% (5.59%–9.44%)	7.40% (5.90%–9.95%)	5.88% (4.68%–7.91%) ^{a,b}
95	9.56% (7.62%–12.85%)	10.65% (8.48%–14.32%)	7.75% (6.17%–10.42%) ^{a,b}
100	14.85% (11.83%–19.97%) ^b	18.78% (14.95%–25.24%)	11.08% (8.82%–14.89%) ^{a,b}
ALL	4.93 ± 3.06% ^b	6.03 ± 3.65%	3.87 ± 2.36% ^{a,b}

^a, significantly more reliable than mean velocity; ^b, significantly more reliable than mean propulsive velocity; ^c, significantly more reliable than peak velocity. Significance was defined as a CV ratio > 1.15. ALL, mean ± SD value obtained from the full load-velocity relationship.

Table 3. Comparison of the coefficient of variation (CV) and 95% confidence interval at each relative load (%1RM) between the different velocity variables in the eccentric-concentric bench press throw exercise.

Load (%1RM)	Type of variable		
	Mean velocity	Mean propulsive velocity	Peak velocity
20	2.25% (1.79%–3.02%) ^b	2.68% (2.13%–3.60%)	1.96% (1.56%–2.64%) ^b
25	2.23% (1.77%–3.00%) ^b	2.65% (2.11%–3.57%)	1.91% (1.52%–2.57%) ^{a,b}
30	2.22% (1.76%–2.98%) ^b	2.63% (2.10%–3.54%)	1.86% (1.48%–2.49%) ^{a,b}
35	2.21% (1.76%–2.97%) ^b	2.62% (2.09%–3.52%)	1.81% (1.44%–2.43%) ^{a,b}
40	2.22% (1.76%–2.98%) ^b	2.61% (2.08%–3.51%)	1.76% (1.41%–2.37%) ^{a,b}
45	2.24% (1.78%–3.01%) ^b	2.61% (2.08%–3.51%)	1.74% (1.38%–2.34%) ^{a,b}
50	2.28% (1.82%–3.07%) ^b	2.63% (2.10%–3.54%)	1.74% (1.38%–2.33%) ^{a,b}
55	2.36% (1.88%–3.17%)	2.68% (2.14%–3.61%)	1.77% (1.41%–2.39%) ^{a,b}
60	2.48% (1.98%–3.34%)	2.78% (2.21%–3.74%)	1.87% (1.49%–2.52%) ^{a,b}
65	2.68% (2.13%–3.60%)	2.95% (2.35%–3.96%)	2.06% (1.64%–2.76%) ^{a,b}
70	2.97% (2.36%–3.99%)	3.22% (2.57%–4.33%)	2.36% (1.88%–3.17%) ^{a,b}
75	3.40% (2.71%–4.58%)	3.67% (2.93%–4.94%)	2.82% (2.25%–3.79%) ^{a,b}
80	4.05% (3.23%–5.45%)	4.40% (3.51%–5.92%)	3.51% (2.79%–4.71%) ^{a,b}
85	5.03% (4.01%–6.76%)	5.60% (4.46%–7.53%)	4.52% (3.60%–6.07%) ^b
90	6.58% (5.24%–8.84%) ^b	7.71% (6.14%–10.37%)	6.06% (4.82%–8.14%) ^b
95	9.22% (7.34%–12.39%) ^b	11.93% (9.50%–16.04%)	8.56% (6.82%–11.51%) ^b
100	14.52% (11.56%–19.51%) ^b	23.48% (18.70%–31.56%)	13.21% (10.52%–17.76%) ^b
ALL	4.05 ± 3.31% ^b	5.11 ± 5.34%	3.50 ± 3.13% ^{a,b}

^a, significantly more reliable than mean velocity; ^b, significantly more reliable than mean propulsive velocity; ^c, significantly more reliable than peak velocity. Significance was defined as a CV ratio > 1.15. ALL, mean ± SD value obtained from the full load-velocity relationship.

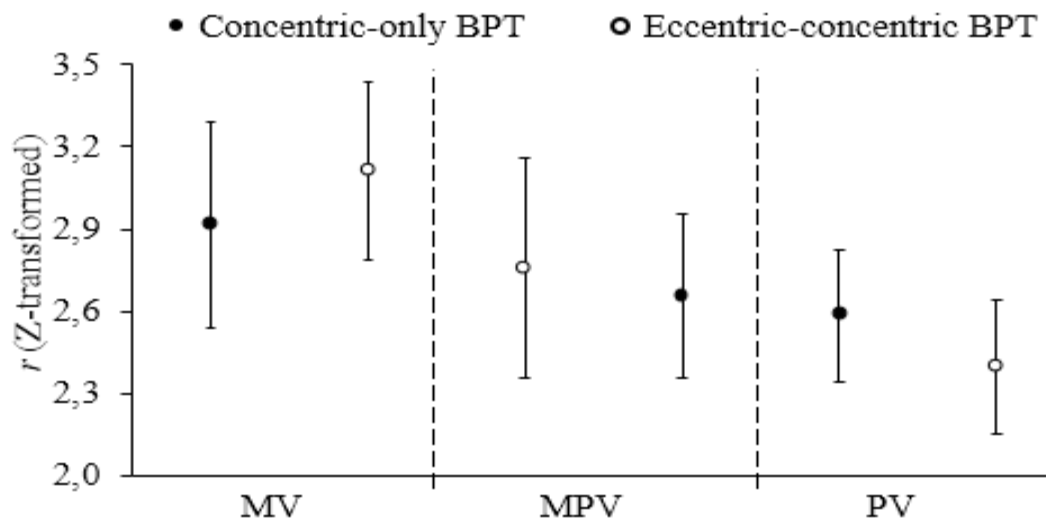


Figure 1. Fisher's Z-transformed individual Pearson's correlation coefficients (means with SD error bars) obtained from the individual load-velocity relationships. BPT, Bench press throw; MV, Mean velocity; MPV, Mean propulsive velocity; PV, Peak velocity.

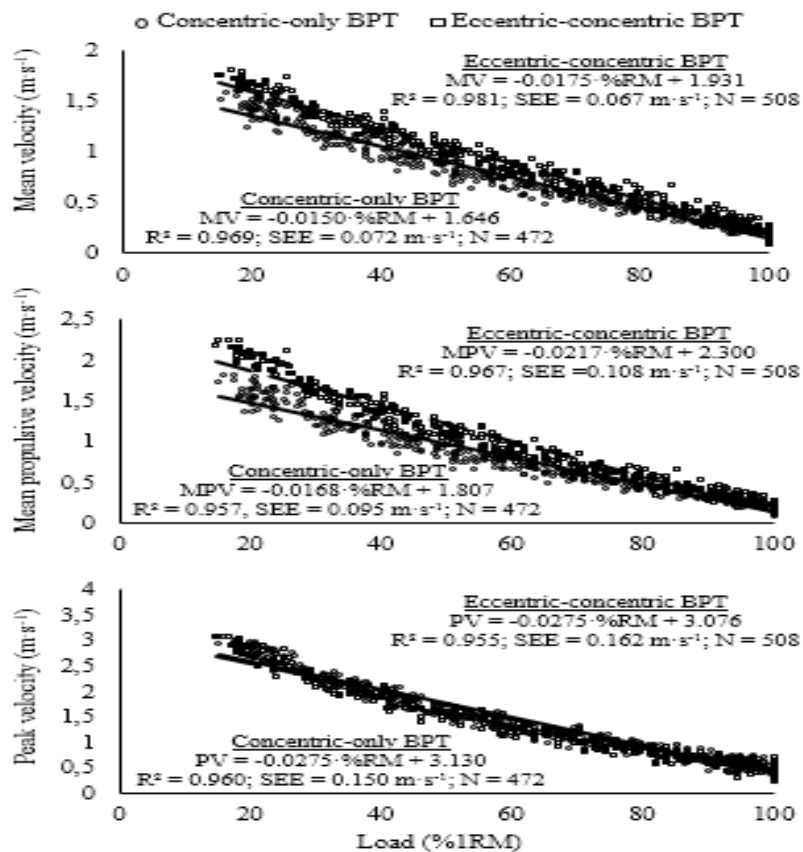


Figure 2. Relationship between relative load (%1RM) and mean velocity (MV; upper panel), mean propulsive velocity (MPV; middle panel) and peak velocity (PV; lower panel) in the concentric-only (open circles and straight line) and eccentric-concentric BPT variants (open square and dashed line). BPT, Bench press throw; R², Pearson's multivariate coefficient of determination; SEE, standard error of the estimate; N = number of trials included in the regression analysis.

ESTUDIO V. VERSIÓN EN INGLÉS

Amador García-Ramos, Guy Gregory Haff, Francisco Luis Pestaña-Melero, Alejandro Pérez-Castilla, Francisco Javier Rojas, Carlos Balsalobre-Fernández, Slobodan Jaric. Feasibility of the 2-Point Method for Determining the 1-Repetition Maximum in the Bench Press Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018; 13(4): 474-481.

doi: 10.1123/ijsp.2017-0374

ABSTRACT

Purpose: This study compared the concurrent validity and reliability of previously proposed generalized group equations for estimating the bench press (BP) one-repetition maximum (1RM) with the individualized load-velocity relationship modelled with a two-point method. *Methods:* Thirty men (BP 1RM relative to body mass: $1.08 \pm 0.18 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) performed two incremental loading tests in the concentric-only BP exercise and another two in the eccentric-concentric BP exercise to assess their actual 1RM and load-velocity relationships. A high velocity ($\approx 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and a low velocity ($\approx 0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) was selected from their load-velocity relationships to estimate the 1RM from generalized group equations and through an individual linear model obtained from the two velocities. *Results:* The directly measured 1RM was highly correlated with all predicted 1RMs (r range: 0.847–0.977). The generalized group equations systematically underestimated the actual 1RM when predicted from the concentric-only BP ($P < 0.001$; effect size [ES] range: 0.15–0.94), but overestimated it when predicted from the eccentric-concentric BP ($P < 0.001$; ES range: 0.36–0.98). Conversely, a low systematic bias (range: -2.3 – 0.5 kg) and random errors (range: 3.0 – 3.8 kg), no heteroscedasticity of errors (r^2 range: 0.053–0.082), and trivial ES (range: -0.17 – 0.04) were observed when the prediction was based on the two-point method. Although all examined methods reported the 1RM with high reliability ($\text{CV} \leq 5.1\%$; $\text{ICC} \geq 0.89$), the direct method was the most reliable ($\text{CV} < 2.0\%$; $\text{ICC} \geq 0.98$). *Conclusions:* The quick, fatigue-free, and practical two-point method was able to predict the BP 1RM with high reliability and practically perfect validity, and therefore we recommend its use over generalized group equations.

Keywords: velocity-based training, load-velocity relationship, maximum strength, validity, reliability.

INTRODUCTION

The one-repetition maximum (1RM) is defined as the maximum load that can be lifted just once in a given exercise (Kraemer & Ratamess, 2004). The 1RM is one of the variables most commonly reported to assess the efficacy of various training and rehabilitation interventions since it is considered a valid indicator of maximal dynamic strength (Cormie, McGuigan, & Newton, 2010; Häkkinen et al., 2001). In addition, the 1RM is considered the main reference for prescribing training loads when constructing resistance training programs (Kraemer & Ratamess, 2004; Soriano, Jimenez-Reyes, Rhea, & Marin, 2015). However, the direct determination of the 1RM from a single maximal lift has been associated with a number of drawbacks such as that it may increase the risk of injury when performed incorrectly or by novice subjects, is time-consuming and maybe impractical for large groups, and it requires the subjects to be fully motivated to reach

their true 1RM (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Bazuelo-Ruiz et al., 2015; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2011). Furthermore, since the 1RM can change quickly within a resistance training program (especially in novice athletes), it should be assessed frequently to accurately prescribe the relative load (%1RM) (González-Badillo et al., 2011). It should be also noted that the frequent performance of maximal lifts may interfere with the athletes' training goals. To solve these limitations, a number of indirect methods have been proposed to predict the 1RM (Brzycki, 1993; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Reynolds, Gordon, & Robergs, 2006).

The indirect method that has received the most attention in recent years is to predict the 1RM based on the load-velocity relationship (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Jovanovic & Flanagan, 2014; Mann et al., 2015). Several studies have reported a strong linear relationship between movement velocity and relative load (%1RM) in a variety of resistance training exercises (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014). The load-velocity relationship of a given exercise has also proven to be very stable regardless of the 1RM value of the subject (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017). These results have encouraged researchers to propose a use of "generalized group equations" for different basic resistance training exercises (e.g., bench press [BP], bench pull, pull-up, squat, leg press, etc.) that predict the 1RM from movement velocity as soon as the first repetition with a given load is performed with maximal voluntary velocity (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Munoz-Lopez et al., 2017; Sánchez-Medina et al., 2014; Sánchez-Moreno et al., 2017). The first generalized group equations were proposed by González-Badillo and Sánchez-Medina (2010) for the concentric-only BP exercise. These authors found that mean velocity (MV: average velocity from the first positive velocity until the bar reaches maximum height) and mean propulsive velocity (MPV: average velocity from the first positive velocity until the acceleration of the bar is lower than gravity) variables were able to predict the %1RM with a high degree of precision ($r^2 > 0.97$; standard error of the estimate [SEE] < 4.0% 1RM). However, to the best of our knowledge, the cross-validation of these generalized group equations to other populations still remains to be explored. It is also unknown whether the validity of the proposed generalized group equations may be dependent on the magnitude of the velocity value used for the prediction, as well as whether these equations could be accurate in other BP variants different from the concentric-only BP (e.g., eccentric-concentric BP).

In apparent opposition to the use of generalized group equations could be the results of recent studies that have shown marked between-subjects differences in force-velocity profiles (Giroux et al., 2016; Jiménez-Reyes et al., 2017; Samozino et al., 2014). Those results suggest that the individual assessment of the load-velocity relationship should be recommended for a more

accurate prediction of the 1RM. However, the standard test used to determine the load-velocity relationship is based on multiple external loads (usually between 5 and 9), which may be impractical when undertaken on a daily basis (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011). However, since the load-velocity relationship is fairly linear, the addition of intermediate loads to the two more distant loads of the relationship should have trivial effects on the final outcomes of the load-velocity relationship (Jaric, 2016; Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial, & García-Ramos, 2017). In this regard, it would be of importance to explore the feasibility of the two-point method recently proposed by Jaric (2016) as a quick, fatigue-free and practical procedure of predicting the 1RM. The two-point method may allow for the modelling of the load-velocity relationship from the velocity recorded against just two different external loads. Finally, since the velocity of the 1RM is quite stable for a given exercise (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014b; Sánchez-Medina et al., 2014), the load (kg) linked to the velocity of the 1RM obtained from the individual load-velocity relationship could be regarded as the subject's 1RM. Therefore, it should be elucidated whether the recently developed two-point method is able to estimate the BP 1RM with higher precision than the generalized group equations proposed by González-Badillo and Sánchez-Medina (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010).

To address the discussed points, we determined the load-velocity relationship and the actual 1RM in two variants of the BP exercise (concentric-only BP and eccentric-concentric BP). Specifically, the purpose of the present study was to examine the concurrent validity and reliability of the generalized group equations proposed by González-Badillo and Sánchez-Medina (2010) and of the individualized load-velocity relationships modelled through the two-point method to estimate the 1RM in the BP exercise. We hypothesized that (1) the 1RM estimated by the two-point method would present a higher level of agreement with the actual 1RM than the generalized group equations due to the existence of individual load-velocity profiles, and (2) the direct method would be the most reliable approach to determine the 1RM.

METHOD

Subjects

Thirty men with at least two years of resistance training experience volunteered to participate in this study (mean \pm SD: age = 21.2 ± 3.8 years; body mass: 72.3 ± 7.3 kg; body height = 1.78 ± 0.07 m; body mass index = 22.8 ± 1.9 kg·m⁻²; BP 1RM relative to body mass = 1.08 ± 0.18 kg·kg⁻¹). Subjects were instructed to avoid any strenuous exercise two days before each testing session.

They were informed of the study procedures and signed a written informed consent form prior to initiating the study. The study protocol adhered to the tenets of the Declaration of Helsinki and was approved by the Institutional Review Board.

Study design

A repeated-measures design was used to explore the feasibility of generalized group equations and of the two-point method for determining BP 1RM. Following two familiarization sessions, subjects came to the laboratory on four occasions, twice a week, with at least 48 h of rest between them. The two sessions with the same BP variant were performed in the same week. The order of the BP variants was randomised. An incremental loading test following the standard procedure proposed by González-Badillo and Sánchez-Medina (2010) was used during each testing session to determine the BP 1RM as well as the velocity of the barbell against the different external loads applied during the test. Testing sessions were performed at the same time of the day for each participant (± 1 h) and under similar environmental conditions ($\sim 22^\circ$ C and $\sim 60\%$ humidity).

Testing procedure

Each testing session began with a 10 min standardized warm-up, which included jogging, dynamic stretching, arm and shoulder mobilization, and one set of five repetitions performed in an explosive manner with an external load of 17 kg (mass of the unloaded Smith machine barbell) in the tested BP variant. Once the warm-up was completed, subjects rested for 3 min, and then a standard procedure was used to determine the BP 1RM (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). The initial external load of the incremental loading test was set at 17 kg and was progressively increased in 10 kg increments until the attained MPV was lower than $0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Thereafter, the load was progressively increased in steps of 5 to 1 kg until the actual 1RM was directly determined with the completion of a single maximal lift. Three attempts were executed at each lighter load ($\text{MPV} > 1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), two for the medium ($0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \leq \text{MPV} \leq 1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), and only one for the heavier loads ($\text{MPV} < 0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). The average number of sets performed with the heavier loads was 4.2 ± 1.1 for the concentric-only BP and 3.6 ± 0.9 for the eccentric-concentric BP. Intra-set rest was 10 s and inter-set rest was fixed to 5 min. Two trained spotters were present on each side of the barbell to ensure safety and to motivate the subject to lift the barbell at the maximum possible velocity.

Subjects performed the BP using the standard five-point body contact position technique (head, upper back, and buttocks firmly on the bench with both feet flat on the floor). Subjects self-selected the grip width, which was measured and kept constant throughout all testing sessions. The specific characteristics of the two BP variants are provided below:

- *Concentric-only BP*: A mechanical brake was used to hold the bar parallel to the

subjects' nipples just above their sternum ($\approx 1\text{-}2\text{ cm}$). From the initial position, subjects lifted the bar as fast as possible until their elbows reached full extension.

- *Eccentric-concentric BP*: Subjects initiated the task holding the bar with their elbows fully extended. From this position, they were instructed to perform the downward and upward phases of the lifting as fast as possible. The bar was lowered until contacting with the subjects' chest at the level of the sternum and the concentric action ended when the subjects' elbows reached full extension.

Measurement equipment and data analysis

Height (Seca 202, Seca Ltd., Hamburg, Germany) and body mass (Tanita BC 418 segmental, Tokyo, Japan) were assessed in the first familiarization session. A Smith machine (Technogym, Barcelona, Spain) coupled with a linear velocity transducer (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain) which sampled the velocity of the barbell at a frequency of 1,000 Hz was used for all testing sessions. The MV and MPV of all repetitions were recorded. The start of the concentric phase for both BP variants was defined as the onset of positive velocity. The acceleration of the barbell was obtained as a time derivate of the velocity data. MV was calculated as the average velocity from the start of the concentric phase (i.e., onset of positive velocity) until the barbell reaches maximum height (i.e, zero velocity). MPV was calculated as the average velocity from the start of the concentric phase until the acceleration of the barbell dropped below the gravity ($-9.81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Note that when heavy loads are lifted in the BP exercise ($\geq 80\%$ 1RM), the MV and MPV are the same because the acceleration of the barbell is always higher than gravity (Sanchez-Medina et al., 2010). Two different procedures were used to estimate the 1RM from barbell velocity (Figure 1):

- *Generalized group equations*: the accuracy of the general equations proposed by González-Badillo and Sánchez-Medina (2010) to estimate the BP 1RM from MV ($\%1\text{RM} = 7.5786 \times \text{MV}^2 - 75.865 \times \text{MV} + 113.02$) and MPV ($\%1\text{RM} = 8.4326 \times \text{MPV}^2 - 73.501 \times \text{MPV} + 112.33$) were assessed. The authors reported a close relationship between the %1RM and barbell velocity ($r^2 > 0.97$; $\text{SEE} < 4.0\%$ 1RM). Specifically, in the present study we selected from each incremental loading test one light load (the closer load to a MV and MPV of $1.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\approx 46\%$ 1RM) and one heavy load (the closer load to a MV and MPV of $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\approx 77\%$ 1RM). Therefore, from each incremental loading test we tested the feasibility of four independent conditions (two loads [$\approx 1.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$] x two variables [MV and MPV]) to predict the BP 1RM. After determining the %1RM that represented the selected load through the equations proposed by González-Badillo and Sánchez-Medina (2010), the following cross-multiplication was applied to estimate the 1RM:

$$1RM = \frac{Load (kg) \times 100}{\%1RM}$$

- *Two-point method*: The individualized relationships between load (kg) and velocity ($m \cdot s^{-1}$) were established through a linear model applied to the data provided by the high velocity ($\approx 1.0 m \cdot s^{-1}$) and low velocity ($\approx 0.5 m \cdot s^{-1}$) separately for MV and MPV (i.e., we used the same experimental points that were used for the application of the generalized group equations). It should be noted that the load- and force-velocity relationships of multi-joint exercises are highly linear (Banyard et al., 2016; Jaric, 2015; Jidovtseff et al., 2011; Jovanonic & Flanagan, 2014). In this regard, as it has been shown for the force-velocity relationship (Jaric, 2016; Zivkovic et al., 2017), the data provided by just two loads could provide the load-velocity relationship with similar reliability and validity than when modelled from multiple loads (i.e., multiple-point method). The 1RM was estimated from the individualized linear model as the load (kg) associated with a velocity of $0.17 m \cdot s^{-1}$. Note that $0.17 m \cdot s^{-1}$ is the MV commonly associated with the 1RM in the BP exercise (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Loturco, Kobal, et al., 2017; Pallarés, Sánchez-Medina, et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014). Therefore, from each incremental loading test we predicted two 1RM values (one for MV and another one for MPV).

[Figure 1]

Statistical analysis

Data are presented as means and standard deviations. Paired samples t-tests were used to compare the absolute (kg) and relative loads (% 1RM) and the actual velocity values of the high-velocity ($\approx 1.0 m \cdot s^{-1}$) and low-velocity ($\approx 0.5 m \cdot s^{-1}$) between the type of velocity variables (MV vs. MPV) and BP variants (concentric-only vs. eccentric concentric). The validity of the predicted 1RMs compared with the actual 1RM was assessed from the magnitudes of the Pearson's correlation coefficient (r), paired samples t-tests, Cohen's d effect size (ES), and Bland-Altman plots. The reliability of the 1RM obtained from different methods was assessed through paired samples t-tests, ES, the coefficient of variation (CV), and the intraclass correlation coefficient (ICC). The criteria to interpret the magnitude of the ES was as follows: trivial (< 0.2), small (0.2-0.59), moderate (0.60-1.19), large (1.2-2.0) and very large (> 2.0) (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). The strength of the correlations was determined using the following criteria: trivial (< 0.1), small (0.1-0.3), moderate (0.3-0.5), high (0.5-0.7), very high (0.7-0.9), or practically perfect (> 0.9) (Cohen, 1988). Reliability assessments were performed by means of a custom spreadsheet, (WG Hopkins, 2000a) while other statistical analyses were performed using the software package SPSS (IBM SPSS version 22.0, Chicago, IL, USA). Statistical significance was accepted at $P < 0.05$ level.

RESULTS

Loads used to predict the 1RM

The magnitude of the absolute (kg) and relative loads (% 1RM) associated with the high-velocity ($\approx 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and low-velocity ($\approx 0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) were higher for MPV and the eccentric-concentric BP than for MV and the concentric-only BP, respectively (Table 1). The only exception was the comparison between MV and MPV at the low velocity in the eccentric-concentric BP in which no significant differences were obtained. The actual velocities of the high-velocity and low-velocity loads did not significantly differ between the velocity variables or BP variants. The velocity of the 1RM was $0.165 \pm 0.042 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (range: $0.09\text{--}0.25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) in the concentric-only BP and $0.172 \pm 0.041 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (range: $0.09\text{--}0.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) in the eccentric-concentric BP.

[Table 1]

Validity of the predicted 1RMs

The actual 1RM was highly correlated with all predicted 1RMs in both BP variants. However, the correlations obtained for the high velocities (r range: $0.847\text{--}0.876$) were somewhat weaker than for the low velocities (r range: $0.960\text{--}0.968$) and the two-point method (r range: $0.956\text{--}0.977$). The generalized group equations systematically underestimated the actual 1RM in the concentric-only BP, but they overestimated the actual 1RM in the eccentric-concentric BP (Figure 2). The differences with the actual 1RM were more prominent for the high velocity than for the low velocity in both BP variants. The Bland–Altman plots conducted with both MV (Figure 3) and MPV (Figure 4) variables revealed that the 1RM predicted from the two-point method presented a low systematic bias (range: -2.3 to 0.5 kg) and random error (range: 3.0 to 3.8 kg), no heteroscedasticity of error (r^2 range: 0.053 to 0.082), and trivial ES (range: -0.17 to 0.04) when compared with the actual 1RM.

[Figure 2]

[Figure 3]

[Figure 4]

Reliability of the 1RM obtained from different methods

The 1RM revealed a high reliability irrespective of the methods used (Table 2). However, the direct method for assessing the 1RM ($CV < 2\%$; $ICC \geq 0.98$) resulted in greater reliability than all indirect methods. The lowest reliability was associated with the use of the MPV with the high velocity.

[Table 2]

DISCUSSION

This study was designed to explore the feasibility of individualized load-velocity relationships modelled through just two data points (i.e., two-point method) for determining the 1RM in the BP exercise. Our main findings revealed a high reliability and a practically perfect concurrent validity of the 1RM predicted by the two-point method and the actual 1RM obtained by the direct method. These results support the use of the two-point method as a quick, fatigue-free and practical procedure of predicting the 1RM in the BP exercise performed in a Smith machine. It should be noted that the two-point method could overcome some of the potential limitations associated with the direct determination of the 1RM (e.g., fatigue-prone procedure that involves a risk of discomfort or injuries in some populations) as well as with the use of generalized group equations (e.g., the load-velocity relationship is subject-dependent). However, strength professionals should be also aware that the direct determination of the 1RM seems to be the most reliable procedure ($CV < 2.0\%$), suggesting that the monitoring of movement velocity is not necessary on a daily basis due to the low day-to-day variability in the actual 1RM value.

An essential requirement for the application of the two-point method is that the load-velocity relationship should be highly linear, a prerequisite that has been largely fulfilled in a variety of resistance training exercises (Banyard et al., 2016; Conceição et al., 2016; Jidovtseff et al., 2011; Loturco, Kopal, et al., 2017). It has been recently shown that the addition of intermediate loads to the highly linear force-velocity relationship does not have meaningful effect on its final outcomes (Jaric, 2016; Pérez-Castilla et al., 2017). To the best of our knowledge, this is the first study that has explored the feasibility of the two-point method to estimate the 1RM. The very high agreement between the directly measured actual 1RM and the 1RM estimated from the two-point methods places the two-point method as a promising cost-efficient procedure of determining the 1RM. However, following the procedure proposed in the practical applications section of the present study, future studies should examine whether the two-point method is also able to estimate the 1RM with acceptable reliability and validity in other resistance training exercises. Specifically, the future studies should be examining the feasibility of the two-point method using two distant loads (e.g., approximately 40-50% and 70-80% of self-reported 1RM) since the use of two close loads could reduce the accuracy of the prediction.

Supporting our first hypothesis, the 1RM estimated by the two-point method presented a higher level of agreement with the actual 1RM than the generalized group equations proposed by González-Badillo and Sánchez-Medina (2010). This result could be expected since the generalized group equations do not take into account the individual differences in the load-velocity profiles. In addition, the results of the present study highlight that generalized group equations cannot be used interchangeably between variants of the same exercise. Namely, while González-Badillo and Sánchez-Medina (2010) equations underestimated the actual 1RM in the concentric-only BP, they overestimated it in the eccentric-concentric BP. Intending to replicate the conditions of González-Badillo and Sánchez-Medina (2010) study, it should be noted that we also used a Smith machine and the same linear velocity transducer (T-Force) that was employed by these authors. In this regard, greater disparities could have been obtained if we were used the free-weight BP or another device to measure barbell velocity (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Loturco, Kobal, et al., 2017). Thereby, we believe that the individual assessment of the load-velocity relationship from only two data points (i.e., two-point method) could solve all these issues.

Our second hypothesis was also confirmed since the direct method proved to be the most reliable procedure of determining the 1RM. This result is in agreement with the results obtained by Banyard et al. (2016) in the free-weight squat exercise. The authors reported very high reliability for the direct method (ICC = 0.99, CV = 2.1%), while the reliability of the 1RM estimated from the individual load-velocity relationship was somewhat lower (ICC = 0.72-0.92, CV = 5.7-12.2%). Therefore, the direct determination of the 1RM may provide a more accurate representation of maximal strength in the two BP variants analysed in the present study. On the other hand, it should be highlighted that the validity of the two-point method proposed in the present study was higher than the load-velocity relationship modelled by Banyard et al. (2016) from multiple points (3 to 5). We believe that the use of a Smith machine and of a simpler exercise (BP vs. squat) in our study could have enhanced the validity of the load-velocity relationship. However, it should be also noted that while in the study of Banyard et al. (2016) the velocity of the 1RM used for the prediction was individualized, in the present study we used the same velocity of the 1RM ($0.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) for all subjects. Given the high day-to-day variability of the velocity of 1RM (Banyard et al., 2016), it should be recommended to use a fixed velocity of the 1RM for all subjects when attempting to predict the 1RM from the load-velocity relationship.

Finally, it is worth noting that strikingly similar results were obtained for MV and MPV variables. It has been proposed that MPV values should be used instead of MV values to not underestimate the performance when light and medium loads are lifted (Sanchez-Medina et al., 2010). On the other hand, recent studies suggest that MV could determine the BP throw load-velocity relationship with higher reliability than MPV (García-Ramos et al., 2017). Therefore,

since a higher number of devices can accurately monitor MV but not MPV (Balsalobre-Fernandez et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017), strength professionals should be aware that the MV is a valid indicator of the relative load (% 1RM).

PRACTICAL APPLICATIONS

The 1RM of the concentric-only and eccentric-concentric BP exercises can be estimated with high reliability and validity through the two-point method. The application on a daily basis of the two-point method would require: (1) set the velocity of the 1RM for a particular subject with the device used in training to monitor velocity (this step could be avoided when the velocity of the 1RM is known), (2) record the mean velocity against two different external loads representing approximately 50% and 80% of self-reported 1RM, and (3) model the individual load-velocity relationship and determine the 1RM as the load associated with the velocity of the 1RM previously established.

CONCLUSIONS

Although the direct method presented the highest reliability, the drawbacks associated with the direct determination of the 1RM (e.g., it is time-consuming and fatigue-prone, it may induce discomfort or risk of injuries in certain populations, etc.) should be acknowledged since they have caused the proliferation of several indirect methods of determining the 1RM. In this regard, the high reliability and practically perfect validity of the two-point method support its use for determining the 1RM in the BP exercise conducted with a Smith machine. Generalized group equations should be avoided since they fail to consider the individual differences in the load-velocity profiles as well as that they are markedly dependent of the type of exercise performed. Further studies should verify whether the two-point method is also able to accurately estimate the 1RM in other resistance training exercises.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank all the subjects who selflessly participated in the study.

REFERENCES

1. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:674-688.

2. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:1582-1598.
3. Häkkinen A, Sokka T, Kotaniemi A, Hannonen P. A randomized two-year study of the effects of dynamic strength training on muscle strength, disease activity, functional capacity, and bone mineral density in early rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum.* 2001;44:515-522.
4. Soriano MA, Jimenez-Reyes P, Rhea MR, Marin PJ. The optimal load for maximal power production during lower-body resistance exercises: A meta-analysis. *Sports Med.* 2015;45:1191-1205.
5. Balsalobre-Fernandez C, Marchante D, Muñoz-Lopez M, Jimenez SL. Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *J Sports Sci.* 2017. Epub ahead of print.
6. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med.* 2010;31:347-352.
7. González-Badillo JJ, Marques MC, Sánchez-Medina L. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J Hum Kinet.* 2011;29:15-19.
8. Bazuelo-Ruiz B, Padial P, García-Ramos A, Morales-Artacho AJ, Miranda MT, Feriche B. Predicting maximal dynamic strength from the load-velocity relationship in squat exercise. *J strength Cond Res.* 2015;29:1999-2005.
9. Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res.* 2011;25:267-270.
10. Brzycki M. Strength testing-predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *The J Phys Educ Recreat Danc.* 1993;64:88-90.
11. Reynolds JM, Gordon TJ, Robergs RA. Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. *J Strength Cond Res.* 2006;20:584-592.
12. Jovanovic M, Flanagan EP. Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond.* 2014;22:58-69.
13. Mann J, Ivey P, Sayers S. Velocity-based training in football. *Strength Cond J.* 2015;37:52-57.
14. Conceição F, Fernandes J, Lewis M, González-Badillo JJ, Jimenez-Reyes P. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J Sports Sci.* 2016;34:1099-1106.
15. Pallarés JG, Sánchez-Medina L, Pérez CE, De La Cruz-Sánchez E, Mora-Rodriguez R. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci.* 2014;32:1165-1175.
16. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ, Pérez CE, Pallarés JG. Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int J Sports*

- Med.* 2014;35:209-216.
17. Loturco I, Kobal R, Moraes JE, et al. Predicting the maximum dynamic strength in bench-press: The high-precision of the bar-velocity approach. *J Strength Cond Res.* 2017;31:1127-1231.
 18. Sánchez-Moreno M, Rodríguez-Rosell D, Pareja-Blanco F, Mora-Custodio R, González-Badillo JJ. Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017. Epub ahead of print.
 19. Muñoz-Lopez M, Marchante D, Cano-Ruiz MA, Chicharro JL, Balsalobre-Fernandez C. Load, force and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017. Epub ahead of print.
 20. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin JB. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Front Physiol.* 2017;7:677.
 21. Giroux C, Rabita G, Chollet D, Guilhem G. Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes. *J Appl Biomech.* 2016;32:59-68.
 22. Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin JB. Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *Int J Sports Med.* 2014;35:505-510.
 23. Pérez-Castilla A, Jaric S, Feriche B, Padial P, García-Ramos A. Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method: optimization of the load selection. *J Strength Cond Res.* 2017. Epub ahead of print.
 24. Jaric S. Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Med.* 2016;46:1585-1589.
 25. Jaric S. Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *Int J Sports Med.* 2015;36:699-704.
 26. Banyard HG, Nosaka K, Haff GG. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *J Strength Cond Res.* 2016. Epub ahead of print.
 27. Zivkovic MZ, Djuric S, Cuk I, Suzovic D, Jaric S. A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks. *J Sports Sci.* 2017;35:1287-1293.
 28. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:3-13.
 29. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum; 1988.
 30. Hopkins W. Calculations for reliability (Excel spreadsheet). A New View of Statistics. 2000. Accessed May 30, 2017. <http://www.sportsci.org/resource/stats/relycalc.html>.

31. Sanchez-Medina L, Perez CE, Gonzalez-Badillo JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med.* 2010;31:123-129.
32. García-Ramos A, Pestaña-Melero F, Pérez-Castilla A, Rojas F, Haff G. Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability? *J Strength Cond Res.* 2017. Epub ahead of print.
33. Banyard HG, Nosaka K, Sato K, Haff G. Validity of various methods for determining velocity, force and power in the back squat. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017. Epub ahead of print.

Table 1. Comparison of the absolute and relative loads and their associated velocity values between the type of velocity variables (MV vs. MPV) and BP variants (concentric-only vs. eccentric concentric) (n = 56).

BP variant	Variable	Mean velocity (MV)		Mean propulsive velocity (MPV)	
		High velocity ($\approx 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Low velocity ($\approx 0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	High velocity ($\approx 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Low velocity ($\approx 0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)
Concentric-only	Load (kg)	28.8 ± 6.1	57.4 ± 9.7	30.8 ± 6.5*	58.3 ± 9.6*
	%1RM	37.8 ± 5.1	75.5 ± 6.0	40.4 ± 5.4*	76.7 ± 5.8*
	Velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1.01 ± 0.07	0.50 ± 0.06	1.01 ± 0.08	0.49 ± 0.06
Eccentric-concentric	Load (kg)	41.8 ± 6.6#	66.5 ± 10.5#	44.3 ± 7.0*#	66.6 ± 10.3#
	%1RM	52.1 ± 5.0#	82.7 ± 4.7#	55.3 ± 5.7*#	82.9 ± 4.7#
	Velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0.99 ± 0.07	0.50 ± 0.07	1.00 ± 0.08	0.50 ± 0.07

BP, bench press; %1RM, percentage of the actual one-repetition maximum.

*, significantly different than MV. #, significantly different than concentric-only BP ($P < 0.05$).

Table 2. Comparison of the reliability of the 1RM value between the different methods for each bench press (BP) variant.

BP variant	Method	Session 1	Session 2	<i>P</i>	ES	CV (95% CI)	ICC (95% CI)
Concentric-only	1.0 MV	64.5 ± 12.0	64.9 ± 11.3	0.666	0.03	4.62 (3.65, 6.29) ^e	0.94 (0.87, 0.97) ^e
	0.5 MV	74.6 ± 12.6	74.0 ± 10.8	0.490	-0.05	3.94 (3.11, 5.36) ^e	0.94 (0.88, 0.97) ^e
	1.0 MPV	65.6 ± 12.6	65.0 ± 11.3	0.501	-0.05	5.35 (4.23, 7.28) ^{b,e}	0.92 (0.84, 0.96) ^e
	0.5 MPV	74.7 ± 12.5	73.9 ± 10.8	0.308	-0.07	3.73 (2.95, 5.08) ^e	0.95 (0.89, 0.98) ^e
	Two-point MV	76.3 ± 13.0	75.5 ± 11.0	0.373	-0.07	4.55 (3.60, 6.19) ^e	0.92 (0.84, 0.96) ^e
	Two-point MPV	75.8 ± 12.8	75.4 ± 10.6	0.735	-0.03	5.11 (4.04, 6.96) ^{b,e}	0.90 (0.79, 0.95) ^e
	Direct	76.3 ± 13.0	76.0 ± 12.7	0.538	-0.02	1.97 (1.56, 2.68)	0.99 (0.97, 0.99)
Eccentric-concentric	1.0 MV	91.4 ± 13.6	92.7 ± 14.8	0.229	0.09	3.86 (3.05, 5.25) ^e	0.93 (0.86, 0.97) ^e
	0.5 MV	86.3 ± 13.1	86.1 ± 13.4	0.790	-0.02	3.27 (2.58, 4.45) ^e	0.96 (0.91, 0.98)
	1.0 MPV	94.2 ± 13.9	94.2 ± 13.7	0.975	0.00	5.03 (3.97, 6.84) ^{a,b,c,d,e}	0.89 (0.78, 0.95) ^{a,b,e}
	0.5 MPV	85.8 ± 13.0	85.4 ± 13.4	0.599	-0.03	3.24 (2.56, 4.41) ^e	0.96 (0.91, 0.98)
	Two-point MV	83.4 ± 12.9	82.7 ± 13.3	0.429	-0.05	3.16 (2.50, 4.30) ^e	0.95 (0.89, 0.97) ^e
	Two-point MPV	81.6 ± 12.8	80.6 ± 13.4	0.215	-0.08	3.05 (2.41, 4.15) ^e	0.95 (0.89, 0.98) ^e
	Direct	80.5 ± 13.7	80.9 ± 14.2	0.396	0.03	1.86 (1.47, 2.53)	0.98 (0.96, 0.99)

P, *p*-value; ES, Cohen's *d* effect size ([Session 2 mean – Session 1 mean] / SDboth); CV, coefficient of variation; ICC, intraclass correlation coefficient; 95% CI, 95% confidence interval. Above (CV) or below (ICC) the 95% confidence interval observed from the 0.5 MV (^a), 0.5 MPV (^b), two-point MV (^c), two-point MPV (^d), and direct method (^e).

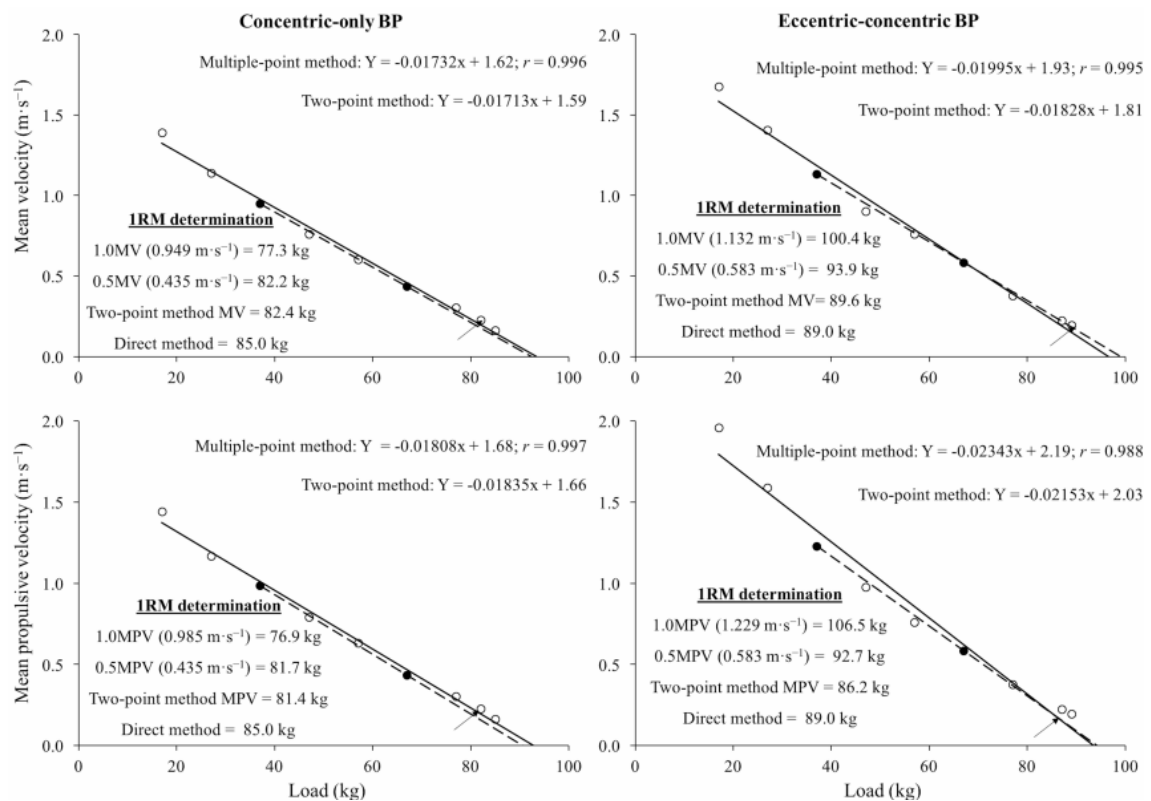


Figure 1. Load-velocity relationships of a representative subject in the concentric-only BP (left hand panels) and eccentric-concentric BP (right hand panels). The relationships obtained from mean velocity (MV; upper panels) and mean propulsive velocity (MPV; lower panels) considering all data points (multiple-point method; straight lines) and only the two loads with the velocity closer to 1.0 and 0.5 m·s⁻¹ (two-point method; dashed lines and filled dots) are depicted. The 1RM values obtained from the different methods are shown. The arrows indicate the points in which the load-velocity relationship modelled by the two-point method reach a velocity of 0.17 m·s⁻¹ (1RM velocity). BP, bench press; 1RM, one-repetition maximum; *r*, Pearson's correlation coefficient.

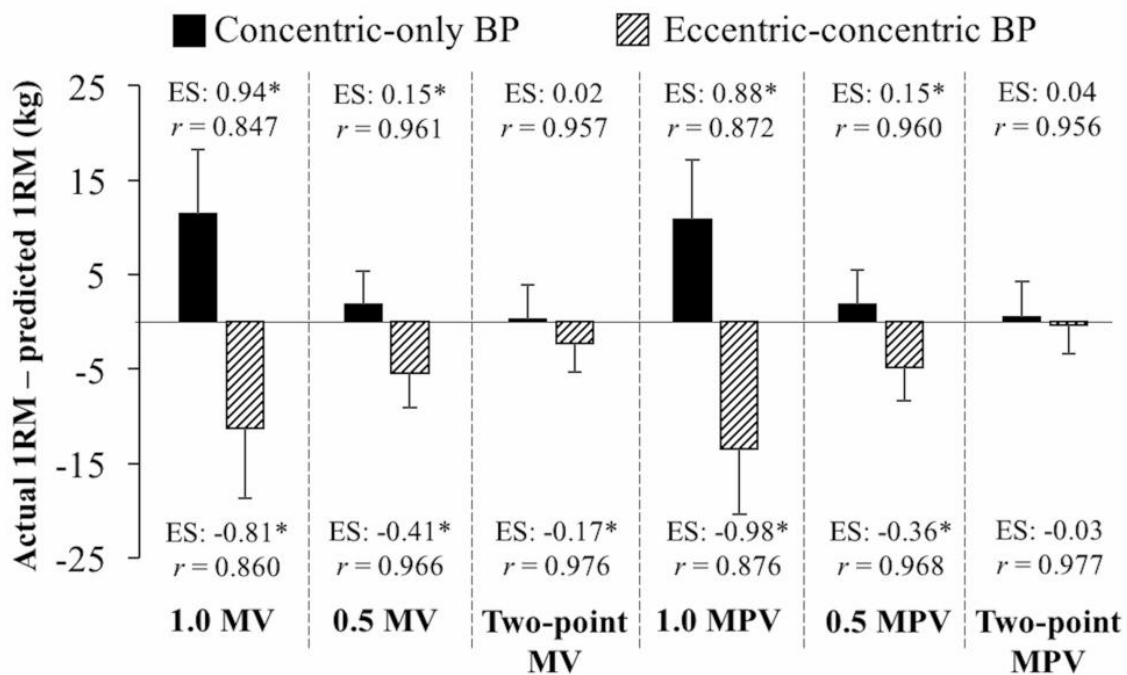


Figure 2. The absolute differences between the actual 1RM and predicted 1RMs (averaged across the subjects with the SD error bars). The Cohen's d effect size (ES) ($[\text{Actual 1RM mean} - \text{Predicted 1RM mean}] / \text{SDboth}$) and the Pearson's correlation coefficient (r) are indicated at the top for the concentric-only BP and at the bottom for the eccentric-concentric BP. 1RM, one-repetition maximum; BP, Bench press. *, significant differences ($P < 0.05$).

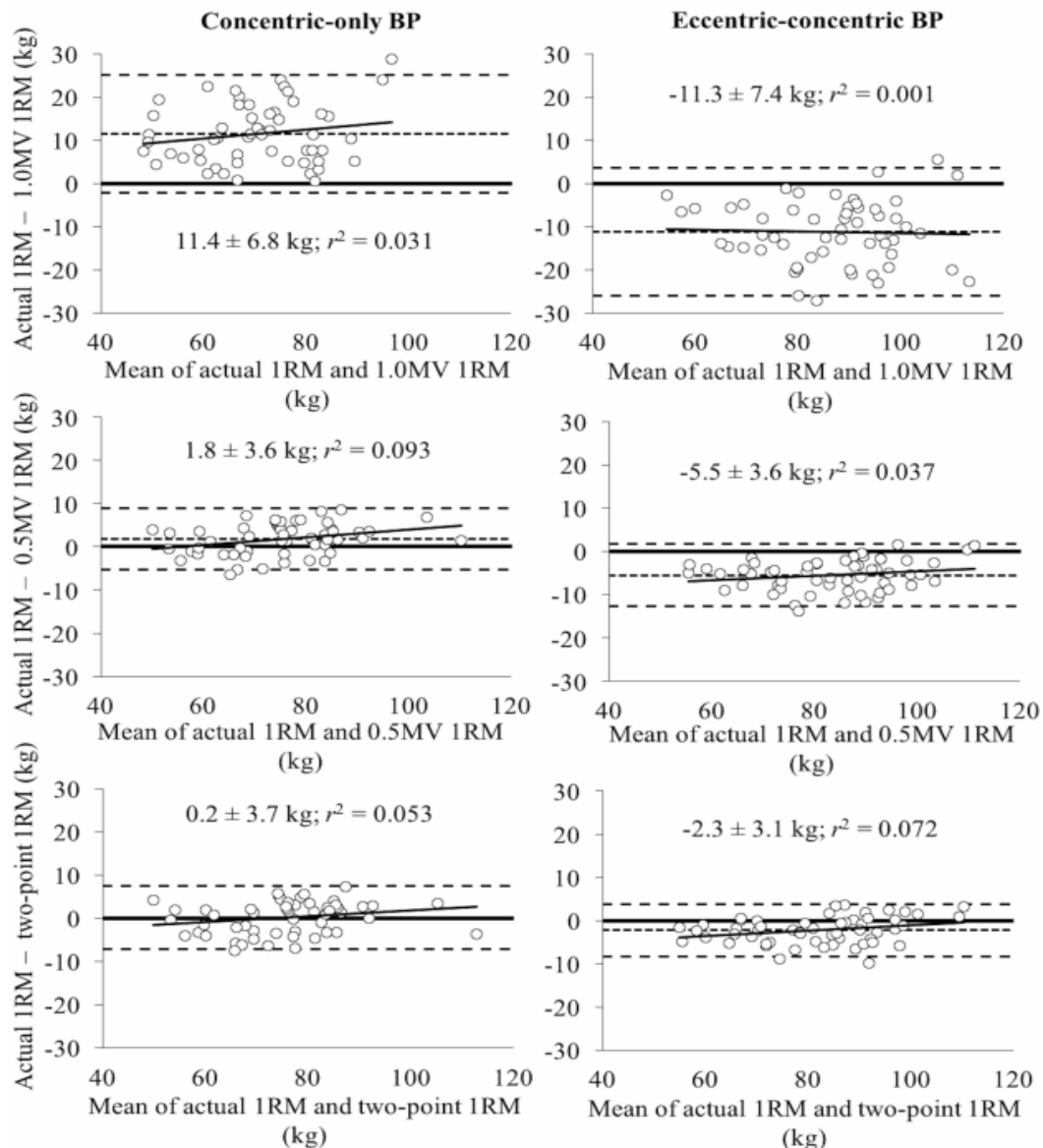


Figure 3. Bland–Altman plots showing differences between the actual and predicted 1RMs from the high MV (1.0MV; upper panels), low MV (0.5MV; middle panels), and the two-point method (lower panels) for the concentric-only BP (left hand panels) and the eccentric-concentric BP (right hand panels). Each plot depicts the averaged difference and 95% limits of agreement (dashed lines), along with the regression line (solid line). The systematic bias \pm random error together with strength of the relationship (r^2) are depicted in each plot. 1RM, one-repetition maximum; BP, Bench press; MV, mean velocity.

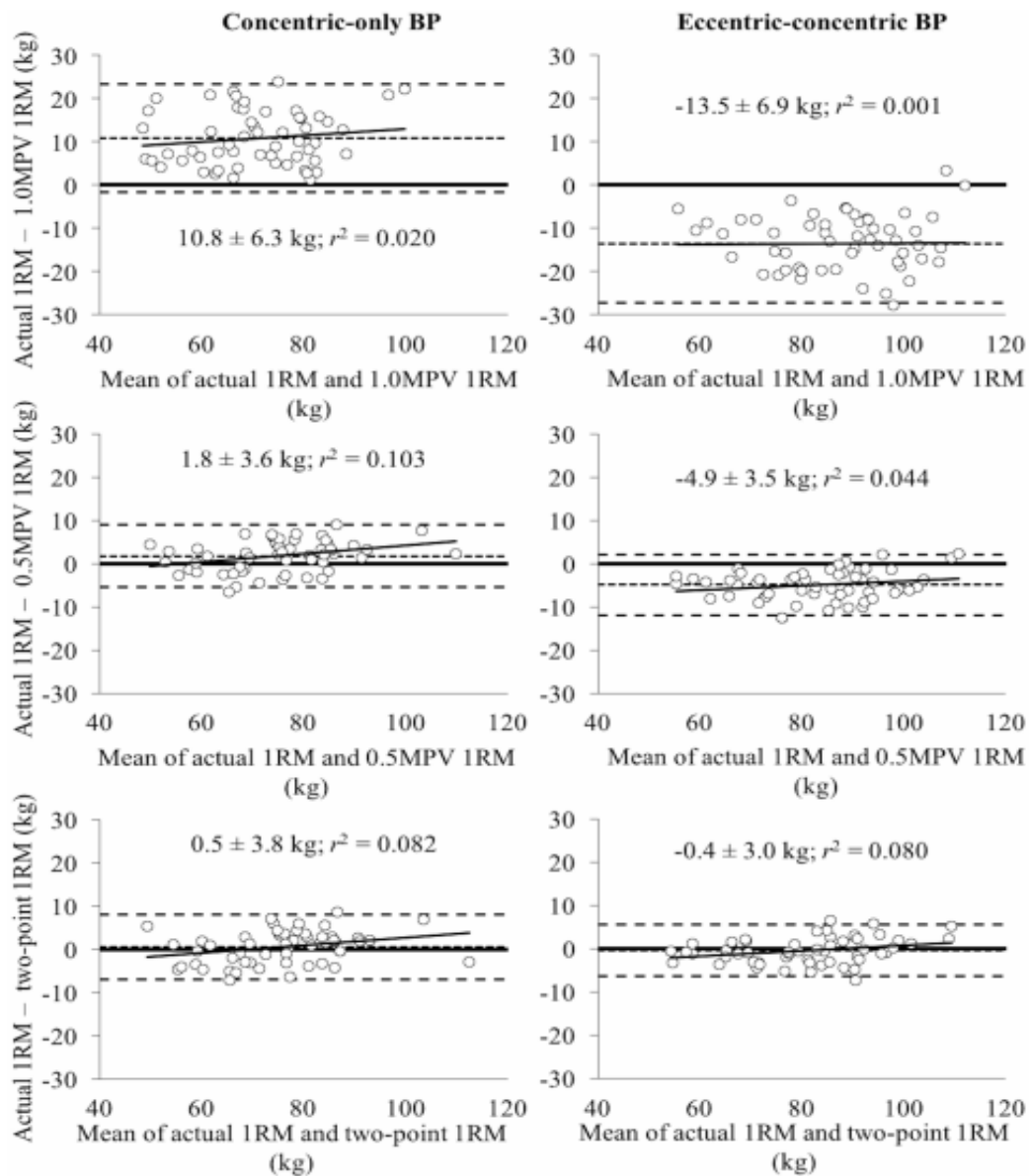


Figure 4. Bland–Altman plots showing differences between the actual and predicted 1RMs from the high MPV (1.0MPV; upper panels), low MPV (0.5MPV; middle panels), and the two-point method (lower panels) for the concentric-only BP (left hand panels) and the eccentric-concentric BP (right hand panels). Each plot depicts the averaged difference and 95% limits of agreement (dashed lines), along with the regression line (solid line). The systematic bias ± random error together with strength of the relationship (r^2) are depicted in each plot. 1RM, one-repetition maximum; BP, Bench press; MPV, mean propulsive velocity.