

Análisis de la validez de las ecuaciones de estimación del 1RM con técnica de parada: una nueva propuesta

Validity of the 1RM estimation equations with stop technique: a new approach

Alejandro Martínez-Cava*, Ricardo Morán-Navarro y Jesús G. Pallarés

*Human Performance and Sports Science Laboratory. Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Murcia, España.
Campus de Excelencia Internacional Regional "Campus Mare Nostrum".*

Resumen: El objetivo de esta investigación es validar nuevas ecuaciones de regresión para estimar el valor de fuerza dinámica máxima absoluta (1RM) mediante test de máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular (nRM) ejecutados con técnica de parada o stop. Igualmente, se estudian los niveles de validez que presentan las ecuaciones que ya se encuentran actualmente definidas en la literatura internacional para estimar la magnitud de la carga (%1RM) y el valor de 1RM a partir de un test nRM en ejecuciones con técnica de parada. Los resultados indican que las nuevas ecuaciones propuestas en esta investigación [1RM en Press Banca = masa desplazada en kg $(-0,01841 \cdot nRM) + 0,981$; 1RM en Sentadilla Completa = masa desplazada en kg $(-0,01176 \cdot nRM) + 0,975$] muestran indicadores sustancialmente mejores de validez ($ET = 1,8-2,2$ kg; $R^2 = 0,956-0,988$), y por lo tanto de mayor capacidad predictiva, que el resto de ecuaciones definidas en la literatura internacional hasta la fecha.

Palabras Clave: fuerza máxima, press banca, sentadilla, estimación.

Abstract: This study validates new regression equations to estimate the value of the absolute maximum dynamic strength (1RM) by means of a maximum number of repetitions test to muscular failure (nRM) executed with stop technique. Also, this study assesses the validity of the equations that are already established in the international publications to estimate the load (% 1RM) and the 1RM value from a nRM test in executions with stop technique. The results indicate that the new equations proposed in this research [Bench Press 1RM = weight lifted in kg $(-0,01841 \cdot nRM) + 0,981$; Full Squat 1RM = weight lifted in kg $(-0,01176 \cdot nRM) + 0,975$] show substantially better validity levels ($SEM = 1,8-2,2$ kg; $R^2 = 0,956-0,988$), and therefore of greater predictive ability, than the rest of equations described in the international literature to date.

Key-words: maximum strength, bench press, squat, estimation.

Introducción

Al igual que ocurre con la valoración de la resistencia cardiorrespiratoria en el contexto del rendimiento deportivo o de la actividad física para la promoción de la salud, la valoración periódica de la fuerza muscular permite al individuo y su cuerpo técnico conocer el grado de efectividad que está teniendo el programa de entrenamiento, al tiempo que le facilita la individualización de las cargas de entrenamiento de las sesiones de entrenamiento venideras, especialmente la intensidad, hasta que se realice una nueva batería de test.

Aunque el volumen de entrenamiento de fuerza (repeticiones y series realizadas por sesión o fase) va a distinguir principalmente la cantidad de adaptaciones que produce el estímulo de entrenamiento, es la intensidad del esfuerzo (i.e., %1RM, carácter del esfuerzo y la velocidad de ejecución) la variable que en mayor medida va a orientar las adaptaciones neuromusculares y/o morfológicas del individuo en uno u otro sentido (González-Badillo & Ribas-Serna, 2002; Pallarés & Morán-Navarro, 2012).

Históricamente, para poder evaluar la fuerza muscular de

un participante y programar posteriormente la intensidad de entrenamiento de forma individualizada era necesario medir directamente el valor de rendimiento máximo o fuerza dinámica máxima absoluta en cada ejercicio. Este test de una repetición máxima o 1RM consiste en que el participante desplace la máxima carga (kg) posible en las fases excéntrica y concéntrica de un ejercicio concreto, en su máximo rango de movimiento y sin ningún tipo de ayuda externa (Levinger et al., 2009). Por ello, una vez que el participante ha realizado un número reducido de repeticiones ante cargas submáximas a modo de calentamiento, éste tiene que forzosamente realizar uno o varios intentos ante cargas muy próximas e iguales al 100% de su fuerza dinámica máxima (1RM) (García-Pallarés, Sánchez-Medina, Carrasco, Díaz & Izquierdo, 2009; García-Pallarés, Sánchez-Medina, Pérez, Izquierdo-Gabarrén & Izquierdo, 2010). Aunque se puede tomar esta valoración como el "Gold Standard" o patrón de oro para conocer la fuerza dinámica máxima absoluta de un individuo, la reproducibilidad absoluta y relativa de este test no se puede considerar precisamente alta ($CV = 2.2 - 10.1$ %), ya que va a depender del nivel de rendimiento de los atletas y del ejercicio analizado (Faigenbaum et al., 2012; Levinger et al., 2009).

Otras desventajas inherentes a esta valoración son, a) riesgo real de producir una lesión en el participante por la

Dirección para correspondencia [Correspondence address]: Alejandro Martínez Cava. Human Performance & Sports Science Laboratory, University of Murcia. c/ Argentina s/n 30720. E-mail: alejandro.mcava@gmail.com

ejecución de este protocolo, especialmente ante ejercicios poliarticulares de gran cadena cinética como la cargada, la arrancada o la sentadilla completa que involucran al raquis (Kravitz, Akalan, Nowicki & Kinzey, 2003; Mayhew, Ware & Prinster, 1993); b) la necesidad de detener el proceso de entrenamiento, o al menos realizar importantes ajustes, 24 h ó 48 h antes y después de la realización del test para tener confianza en los resultados obtenidos y garantizar una adecuada recuperación antes de un nuevo estímulo de entrenamiento o competición (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

Las nuevas tecnologías y los recientes avances en investigación permiten valorar, no solo la fuerza dinámica máxima absoluta (como ocurre con el test 1RM), sino también la fuerza aplicada ante resistencias submáximas de forma válida, reproducible, práctica, económica y segura, mediante la monitorización de la velocidad de desplazamiento de la carga (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez & Pallarés, 2014; Pallarés, Sánchez-Medina, Pérez, De La Cruz-Sánchez & Mora-Rodríguez, 2014). Dada la estrecha relación que existe entre la magnitud de la carga (% 1RM) y la velocidad a la que se desplaza la barra (ICC > 0.955), siempre que el individuo desplace la carga a la máxima velocidad voluntaria, la velocidad de la fase concéntrica alcanzada ante cualquier resistencia (kg) permite estimar con un error mínimo (< 2%) la intensidad (% 1RM) que supone esa resistencia para el individuo en cada momento (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Pallarés et al., 2014a). En base a estas evidencias, y para facilitar la labor de los profesionales del entrenamiento de fuerza, recientes investigaciones proporcionan ecuaciones de predicción del % 1RM en función de la velocidad alcanzada por la barra ante una determinada carga (kg) para los principales ejercicios isoinerciales (press banca, dorsal remo, sentadilla) (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Pallarés et al., 2014a). Estos algoritmos de predicción permiten estimar el % 1RM que supone una determinada carga y el valor de fuerza dinámica máxima absoluta (1RM en kg) simplemente monitorizando la velocidad de la primera repetición de una serie de entrenamiento.

La valoración de la fuerza mediante el registro de la velocidad de desplazamiento de la carga evita la mayoría de los inconvenientes o desventajas que presentan los test 1RM como son: 1º) no exige al individuo desplazar la carga máxima (Test 1RM), con el consiguiente descenso del riesgo de lesión; 2º) no requiere detener el proceso de entrenamiento antes de los test para garantizar una absoluta recuperación (1-2 sesiones de entrenamiento precedentes con carga reducida o inexistente); 3º) minimiza la fatiga mecánica y metabólica asociada al protocolo del test 1RM, con la consiguiente ventaja para la programación del entrenamiento inmediatamente posterior a la realización del test (6-48h); 4º) estos protocolos presentan

valores notablemente mejores de reproducibilidad biológica en la medida (CV ~ 2.9 %); 5º) conocer en cada sesión de entrenamiento el estado actual de rendimiento del participante nada más realizar la primera repetición de entrenamiento, y 6º) evaluar otras capacidades determinantes del rendimiento deportivo diferentes de la fuerza dinámica máxima absoluta, como el valor o valores de fuerza útil de un determinado gesto técnico, la fuerza explosiva, el déficit de velocidad, diferenciar la fase propulsiva de la de frenado, o estudiar la curva carga-velocidad y carga-potencia en cada ejercicio (González-Badillo & Gorostiaga, 2002; González-Badillo & Ribas-Serna, 2002; Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro, & González-Badillo, 2017). No obstante, a pesar de estas importantes ventajas para la evaluación y programación del entrenamiento de fuerza, los principales inconvenientes de este sistema de monitorización de la magnitud de la carga a través de la velocidad son el elevado coste económico del dispositivo que permite medir la velocidad de desplazamiento de las cargas (i.e., transductor lineal de velocidad o posición entre 500 y 3,000 euros), la notable exigencia logística que requiere este sistema durante la sesión, así como la elevada cualificación del responsable de la medición e interpretación de los resultados.

Tratando de minimizar las desventajas de estas dos técnicas de valoración del rendimiento neuromuscular (i.e., test 1RM y velocidad de las cargas), todavía continúa utilizándose actualmente el método del máximo número de repeticiones o test nRM que comenzó a ponerse en práctica en la década de 60 (Clarke & Herman, 1955). Este test nRM pretende estimar el valor del 1RM (kg) de cualquier ejercicio sin que el individuo llegue a desplazar realmente su carga máxima. Para ello basta con registrar el número de repeticiones que el participante puede completar ante una carga (kg) submáxima conocida. Concretamente, esta valoración exige al participante que realice, en su rango completo de movimiento y sin ningún tipo de ayuda externa, el máximo número de repeticiones posibles hasta alcanzar el fallo muscular ante una resistencia (kg) que pueda desplazar entre 4-15 veces, dependiendo de la ecuación de predicción previamente validada que se desea aplicar (Brzycki, 1993; Epley, 1985; Kravitz et al., 2003; Lander, 1985; Lombardi, 1989; O'Connor, Simons & O'Shea, 1989; Wathen, 1994).

Diversos estudios han evidenciado que estas ecuaciones mejoran sus niveles de validez cuanto menor es el número de repeticiones realizadas, es decir, cuanto mayor es la intensidad de la carga desplazada (Wood, Maddalozzo & Harter, 2002). No obstante, aunque siempre se emplee la misma ecuación, los índices de validez y reproducibilidad de estos algoritmos de estimación del 1RM están muy condicionados por el protocolo de medida utilizado, especialmente por aquellas variables contaminantes que pueden incrementar el error de la medida como el protocolo de calentamiento uti-

lizado (Sá et al., 2016), la capacidad de sufrimiento y experiencia del participante ante un test de repeticiones hasta el fallo muscular (Morán-Navarro et al., 2017), y especialmente por el ejercicio de fuerza en el que se realiza la medición (Sánchez-Medina et al., 2011; Pallarés et al., 2014a; Morán-Navarro et al., 2017), así como la participación o no del ciclo estiramiento-acortamiento o “rebote” al no disociar o separar convenientemente la fase excéntrica y concéntrica del movimiento (Pallarés et al., 2014a).

Por todo ello, esta investigación tuvo como objetivo diseñar nuevas ecuaciones de regresión para estimar el valor de fuerza dinámica máxima absoluta (1RM) mediante test nRM (Estudio I) con una técnica de parada o stop, que permite eliminar el ciclo estiramiento acortamiento (CEA), y al que estudios recientes parecen adjudicarle importantes ventajas para la valoración y programación del entrenamiento de fuerza con respecto a la ejecución estándar o con rebote (Conceição, Fernandes, Lewis, González-Badillo & Jiménez-Reyes, 2016; Pallarés et al., 2014a). Así mismo, esta investigación también va a analizar los indicadores de validez que muestran las ecuaciones de predicción del 1RM a través de test nRM que ya están disponibles en la literatura científica para los principales ejercicios de fuerza ejecutados con esta técnica de parada (Estudio II).

Método

Muestra

Sesenta varones jóvenes con experiencia en el entrenamiento de fuerza (edad $23,9 \pm 3,6$ años, masa corporal $77,2 \pm 9,3$ kg, estatura $178,3 \pm 6,1$ cm, masa grasa $14,9 \pm 2,9\%$, experiencia en el entrenamiento de fuerza $6,6 \pm 5,1$ años) participaron de forma voluntaria en el estudio. Se impusieron los siguientes requisitos de inclusión: i) poseer un valor de 1RM en los ejercicios de press banca y sentadilla completa relativos a su masa corporal superior a 1.0; ii) estar familiarizado con las técnicas de ejecución de los ejercicios de fuerza sometidos a estudio (press banca y sentadilla completa con técnica de parada), iii) estar realizando un mínimo de dos sesiones de entrenamiento de fuerza semanales durante el último año; iv) no padecer ninguna enfermedad, limitación física o lesión que pueda afectar a las mediciones del estudio; y, v) no realizar otro tipo de entrenamiento de fuerza u otro ejercicio físico intenso las 48 horas previas a la toma de datos.

Esta investigación cumplió con los requisitos de experimentación con humanos detallados en la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Murcia. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado antes de comenzar la fase experimental del estudio.

Diseño experimental

Se realizó una investigación descriptiva, cruzada y cuantitativa. El Estudio I en el que participaron 30 sujetos se desarrolló durante un periodo de 5 semanas, en el que se programaron 11 sesiones de laboratorio separadas por 48-72 h en el siguiente orden: 1º) 5 sesiones de familiarización con las técnicas y procedimientos de medida en los dos ejercicios de fuerza sometidos a estudio (PB y ST); 2º) 2 sesiones, una para cada ejercicio, en las que se realizaron los test con cargas incrementales para definir las curvas Carga-Velocidad y el valor de 1RM; 3º) 4 sesiones en las que se realizaron de forma aleatoria 2 test de máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular (uno para el PB y otro para ST) contra el 65%, 75%, 85% y 95% de 1RM. Una vez concluido el Estudio I, y habiendo definido las nuevas ecuaciones de estimación del 1RM en ambos ejercicios, 30 participantes (Estudio II), diferentes de los que compusieron la muestra del Estudio I, repitieron exactamente el mismo diseño, protocolos y cronograma para analizar la validez de las nuevas ecuaciones obtenidas del Estudio I y del resto de algoritmos descritos hasta la fecha en la literatura científica para la estimación del 1RM mediante un test nRM en ejecuciones con técnica de parada.

Todas estas sesiones se realizaron bajo similares condiciones ambientales ($20-22^{\circ}$ C y 55-65% humedad) y en el mismo rango horario matinal (10:00-12:30 h) para controlar los efectos del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular (Mora-Rodríguez et al., 2015; Pallarés et al., 2014b; Pallarés et al., 2015).

Familiarización

Se realizaron 5 sesiones de familiarización en las que los participantes se habituaron a los protocolos y técnicas que se iban a emplear durante el estudio. Así mismo, en estas sesiones se tomaron medidas cineantropométricas básicas (masa corporal, talla, pliegues cutáneos) y se realizaron los cálculos y estimaciones de la masa grasa y masa libre de grasa de los participantes siguiendo procedimientos previamente definidos (López-Gullón, Muriel, Torres-Bonete, Izquierdo & García-Pallarés, 2011). Finalmente, estas sesiones de familiarización se utilizaron para establecer individualmente la altura de los soportes que determinaban el rango de movimiento en cada ejercicio para la correcta realización de la técnica con parada, y que permitían anular el efecto del ciclo estiramiento-acortamiento diferenciando la fase excéntrica y concéntrica del movimiento (Pallarés et al., 2014a).

Test incremental con cargas: curvas Carga-Velocidad

Todos los sujetos participaron en dos sesiones de valoración separadas por 48 - 72 h en las que se determinó individual-

mente las curvas Carga-Velocidad mediante un test incremental con cargas hasta alcanzar el 1RM en cada ejercicio (i.e., una sesión por ejercicio). El calentamiento estandarizado consistió en un periodo de 5 min de pedaleo en cicloergómetro a baja intensidad (75 W), 5 min de estiramientos activos y ejercicios de movilidad articular, seguido de una serie de 5 repeticiones ante una carga de 20 kg y 5 repeticiones ante una carga de 30 kg. La carga inicial del test incremental se estableció en 20 kg (el peso de la barra de la Multipower), y se incrementó progresivamente de 10 kg en 10 kg hasta que la velocidad media propulsiva (VMP) fue inferior a $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en PB y $0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en ST. A continuación, la carga se ajustó con incrementos menores (5,0 - 2,5 kg) hasta que se alcanzó el valor de 1RM (carga más elevada que pudo desplazar cada participante en el rango completo de movimiento y sin ningún tipo de ayuda externa) con una precisión de 2,5 kg. Los participantes ejecutaron 3 repeticiones ante las cargas bajas (< 50 % 1RM), 2 ante las cargas medias (50-75% 1RM) y 1 ante las cargas altas (> 75% 1RM), tomándose para su posterior análisis el mejor valor de VMP de cada serie. Se respetó en todo momento una recuperación entre series de 3 min. En todas las ejecuciones, independientemente de la carga a desplazar y el ejercicio, se solicitó al participante que realizase la fase excéntrica del movimiento a una velocidad "controlada" ($0.45\text{-}0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) hasta alcanzar la posición individualizada de parada de cada rango. En esta posición, el participante realizó una pausa momentánea (1.0 - 1.5 s) para eliminar el efecto del ciclo estiramiento-acortamiento o "rebote", e inmediatamente después realizar la fase concéntrica del movimiento a la máxima velocidad voluntaria posible (Pallarés et al., 2014a).

Test de máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular

Los participantes realizaron un calentamiento de 4 series de entre 5 y 2 repeticiones incrementando progresivamente la intensidad hasta alcanzar la carga (kg) correspondiente al 65%, 75%, 85% o 95% del valor individual de 1RM previamente determinado en el test incremental con cargas de cada ejercicio. La resistencia ante la que cada participante debía completar su test nRM se ajustó y confirmó justo antes de cada test (precisión $\pm 0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), tras el calentamiento, mediante el estudio de la relación carga-velocidad individual en cada ejercicio ya que se ha demostrado que la velocidad a la que se desplazan las cargas puede estimar con gran precisión la magnitud real de la carga a la que se enfrenta el participante (%1RM) (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). Para ello, antes de comenzar cada test, se realizaron los ajustes necesarios en la resistencia a vencer (kg) para que la velocidad de la primera repetición se ajustara a la velocidad esperada según su propia relación

Carga-Velocidad del ejercicio. Tras 5 min de recuperación, y de acuerdo al diseño randomizado del estudio, los sujetos completaron una serie de repeticiones hasta el fallo en el ejercicio y magnitud de carga asignado. Tras 10 minutos de recuperación activa con pedaleo en ciclo ergómetro a 50 W y ejercicios de estiramiento suave y 20 min de recuperación pasiva en el que ingirieron 200-250 ml de agua, los participantes completaron un segundo test en el segundo ejercicio y ante una magnitud de carga (%1RM) diferente.

Técnicas de ejecución de los ejercicios press banca y sentadilla completa

Para la correcta ejecución del press banca los participantes se tumbaban supino en un banco plano. Los pies elevados por encima del suelo hasta una altura que permitiese mantener las curvaturas el raquis de acuerdo a su posición anatómica, con las manos agarrando la barra a una anchura ligeramente superior (5-7 cm) a la de los hombros y la proyección de la barra en la línea intermamaria. El ejercicio se inicia con la fase excéntrica descendiendo la barra hasta que descansa en los soportes a 1cm del esternón del participante, donde permanece inmóvil 1.0-1.5 s, para realizar posteriormente la fase concéntrica invirtiendo el movimiento, empujando la barra hacia arriba a la máxima velocidad posible hasta la completa extensión de los brazos.

En el ejercicio de sentadilla completa los participantes en bipedestación se disponen en el centro del pórtico de la multipower, la barra apoyada en la parte superior de la espalda por detrás de la cabeza sobre los trapecios. Las piernas extendidas y los pies dispuestos a la anchura de los hombros, en paralelo o con ligera rotación externa (máximo 25°), haciendo coincidir la proyección de la barra con la posición de los empeines. La posición de los sistemas de parada se ajustaba individualmente para permitir la sentadilla completa, definida como la flexión profunda de cadera, rodilla y tobillo que permite el contacto entre el bíceps femoral y el tríceps sural (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). En esta posición se deja reposar la barra sobre los soportes de retención donde permanecerá quieta (1.0-1.5 s), para realizar posteriormente la fase concéntrica invirtiendo el movimiento subiendo la barra hacia arriba a la máxima velocidad posible hasta la completa extensión de las piernas. No se permitió a los participantes levantar los talones del suelo o la barra del trapecio en ningún momento durante la fase concéntrica del movimiento. Si esto ocurría se eliminaba esa ejecución para repetirse pasados 3 min.

Instrumental y equipamiento

Para la realización de los test incrementales con cargas y los test nRM se utilizó una máquina multipower a discos

(Perogafitness Line, Peroga S.L., Murcia) de 2,20 m de alto y 1,75 m de ancho, con rodamientos de alta calidad para minimizar la fricción de la barra sobre las guías. Este instrumento limita el movimiento de la carga en el plano sagital, por lo que se obtiene una medida más reproducible y más segura para la integridad del deportista (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Esta máquina no presenta ningún tipo de mecanismo de contrapeso, siendo por tanto el movimiento para el participante igual que el peso libre (i.e., carga isonercial). El peso de la barra, incluido el sistema de guiado, es de 20,0 kg. Para incorporar las cargas adicionales se incluyeron discos de peso calibrados (Eleiko, Sport AB, Halmstad, Sweden) en los dos extremos de la barra. Para las mediciones de velocidad de desplazamiento de las cargas se empleó un transductor lineal de velocidad (T-Force, Ergotech, Murcia, España). Este sistema posee un taco generador de alta precisión que mide la velocidad de desplazamiento vertical a la que se extiende o retrae el cable. La frecuencia de muestreo es de un dato por milisegundo (i.e., 1000 muestras/s). Tiene un error absoluto de $\pm 0,42$ mm para un desplazamiento de 60 cm y un error relativo de la medida de velocidad de $\pm 0,14\%$. ICC=1,00; CV=0,57% (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Las medidas de velocidad utilizadas en este estudio corresponden con la velocidad

media de la barra durante la fase propulsiva, definida como la porción de la acción concéntrica durante la cual la aceleración imprimida a la carga es mayor que la aceleración de la gravedad (Sánchez-Medina et al., 2010).

Análisis Estadístico

Se emplearon métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medias, desviación estándar, error típico y los coeficientes de correlación de Pearson entre la carga relativa (% 1RM) y el número de repeticiones realizados hasta el fallo muscular (nRM). Gráficos Bland-Altman permitieron analizar el acuerdo y concordancia entre el valor de 1RM real y los valores de 1RM estimados por las diferentes ecuaciones de predicción (Bland & Altman, 1999). Los análisis se realizaron usando el programa GraphPadPrism 6.0 (GraphPad Software, Inc., CA, USA).

Resultados

La Tabla 1 muestra el número de repeticiones completadas hasta el fallo muscular con técnica de parada en los dos ejercicios analizados (PB y ST) en función de la magnitud de la carga (%1RM) a la que se enfrentaban los participantes.

Tabla 1. Número de repeticiones completadas hasta el fallo muscular en los ejercicios de Press Banca y Sentadilla Completa para cada magnitud de carga estudiado (%1RM) con técnica de parada.

| | 65% 1RM | | | | | 75% 1RM | | | | |
|----------------------------|---------|---|-----|--------------|-----------|---------|---|-----|--------------|-----------|
| | Media | ± | DE | Error Típico | IC 95% | Media | ± | DE | Error Típico | IC 95% |
| Press Banca | 17,8 | ± | 1,3 | 0,2 | 17,4-18,2 | 11,9 | ± | 1,2 | 0,2 | 11,4-12,4 |
| Sentadilla Completa | 18,3 | ± | 1,5 | 0,3 | 17,7-18,9 | 11,7 | ± | 1,2 | 0,2 | 11,3-12,1 |

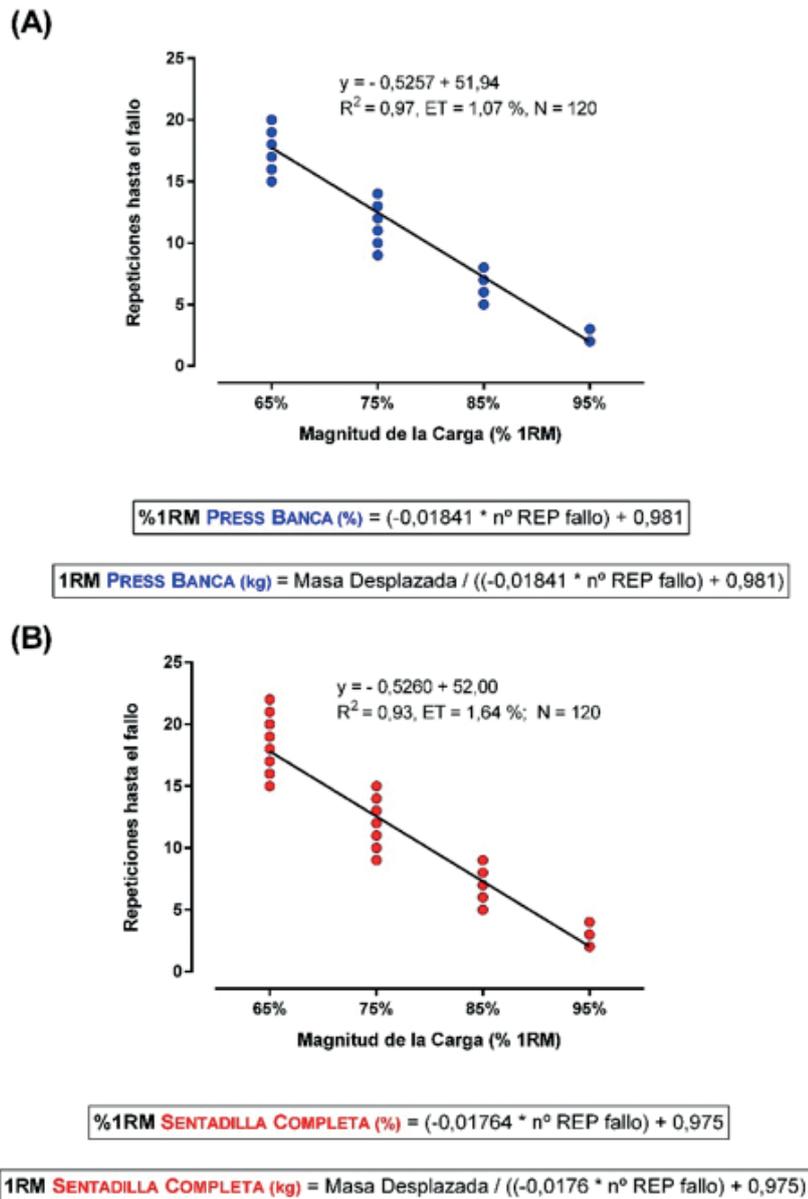
| | 85% 1RM | | | | | 95% 1RM | | | | |
|----------------------------|---------|---|-----|--------------|---------|---------|---|-----|--------------|---------|
| | Media | ± | DE | Error Típico | IC 95% | Media | ± | DE | Error Típico | IC 95% |
| Press Banca | 6,8 | ± | 0,9 | 0,2 | 6,5-7,2 | 2,3 | ± | 0,4 | 0,3 | 2,1-2,4 |
| Sentadilla Completa | 6,7 | ± | 1,1 | 0,2 | 6,3-7,1 | 2,9 | ± | 0,9 | 0,2 | 2,6-3,3 |

Nota: DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza

Por su parte, la Figura 1 muestra los resultados de análisis coeficiente de correlación de Pearson entre el número de repeticiones máximas completados hasta el fallo muscular (nRM) con técnica de parada y la magnitud de la carga (%1RM) ante la que se enfrentaban los participantes en el ejercicio de Press Banca (A) y Sentadilla Completa (B) del Estudio I. Igualmente, despejando de la ecuación de la recta que define

esta relación para ambos ejercicios, se obtienen las ecuaciones de predicción de la magnitud de la carga (%1RM) una vez conocido el número de repeticiones completado hasta el fallo muscular, así como la estimación del valor de 1RM si se tiene en cuenta la masa desplazada durante este test nRM (Figura 1 A y B).

Figura 1. Correlación entre el número de repeticiones completadas hasta el fallo muscular y la magnitud de la carga (%1RM) en los ejercicios de Press Banca (A) y Sentadilla Completa (B) con técnica de parada. Se detallan las ecuaciones de estimación de la magnitud de la carga y el valor de 1RM que se desprenden de estas correlaciones.



Relativo al Estudio II, la Tabla 2 muestra los valores estimados de 1RM por la ecuación validada en el Estudio I, así como por cada una de las ecuaciones validadas con anterioridad en la literatura para el ejercicio de PB. Igualmente, esta Tabla 2 y la Figura 2 muestran los valores de coeficiente de correlación de Pearson y el sesgo del análisis Bland-Altman entre el valor estimado por cada algoritmo y el valor real de 1RM, tanto para el total de test nRM estudiados ante cualquier magnitud de carga (%1RM), como para exclusivamente aquellos test nRM

que se completaron con menos de 11 repeticiones máximas. En este análisis se muestra la validez de las ecuaciones generales propuestas por los autores para cualquier ejercicio (i.e., ecuaciones generales; Brzycki, 1993; Epley, 1985; O'Connor et al., 1989; Landers, 1985; Lombardi, 1989; Wathen, 1994), así como las ecuaciones propuestas específicamente para el ejercicio de press banca (Mayhew, Ball, Arnold & Bowen, 1992; Kravitz et al., 2003).

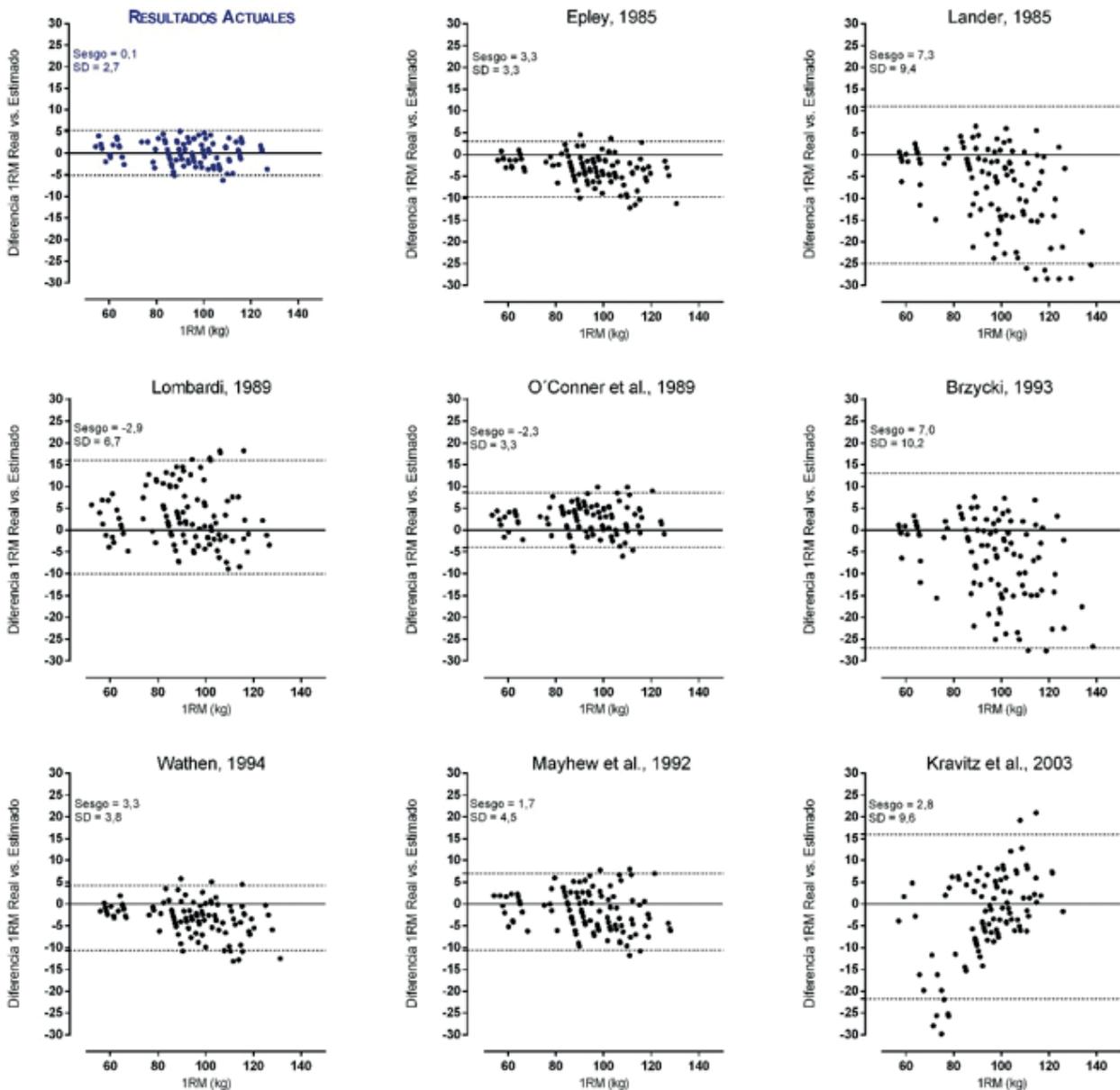
Tabla 2. Validez de la ecuación obtenida en el presente estudio y de los algoritmos disponibles en la literatura internacional para estimar el valor de 1 RM en el ejercicio de Press Banca, atendiendo a todas las magnitudes de las cargas (65%-95%1RM; ≤ 25 repeticiones), y únicamente a las cargas altas (85%-95%1RM; ≤ 10 repeticiones).

| Press Banca TODOS (n = 120) | 1RM Estimado (kg) | | % DIF | Error Típico (kg) | Prueba T (p valor) | Correlación (R ² valor) | BlandAltman | |
|--------------------------------|-------------------|---------------|--------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|--------------|
| | Media | DE | | | | | Sesgo | SD |
| *Resultados Actuales | 92,8 | ± 17,1 | -0,1% | 2,0 | 0,959 | 0,988 | 0,1 | ± 2,7 |
| Epley, 1985 | 96,2 | ± 17,8 | 3,5% | 3,2 | 0,108 | 0,984 | 3,3 | ± 3,3 |
| Lander, 1985 | 100,2 | ± 21,0 | 7,8% | 9,1 | 0,003 | 0,901 | 7,3 | ± 9,4 |
| Lombardi, 1989 | 89,9 | ± 17,2 | -3,2% | 6,7 | 0,180 | 0,923 | -2,9 | ± 6,7 |
| O'Connor et al., 1989 | 90,6 | ± 16,7 | -2,5% | 3,3 | 0,293 | 0,981 | -2,3 | ± 3,3 |
| Mayhew et al., 1992 | 99,9 | ± 21,4 | 7,5% | 10,0 | 0,005 | 0,885 | 7,0 | ± 10,2 |
| Brzycki, 1993 | 96,1 | ± 17,9 | 3,5% | 3,7 | 0,144 | 0,979 | 3,3 | ± 3,8 |
| Wathen, 1994 | 94,6 | ± 17,5 | 1,8% | 4,5 | 0,431 | 0,967 | 1,7 | ± 4,5 |
| Kravitz et al., 2003 | 95,7 | ± 11,7 | 3,0% | 6,8 | 0,129 | 0,819 | 2,8 | ± 9,6 |

| Press Banca ≤ 10 REP (n = 60) | 1RM Estimado (kg) | | % DIF | Error Típico (kg) | Prueba T (p valor) | Correlación (R ² valor) | BlandAltman | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------|-------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|--------------|
| | Media | DE | | | | | Sesgo | SD |
| *Resultados Actuales | 93,0 | ± 16,6 | 0,0% | 2,0 | 0,991 | 0,987 | 0,0 | ± 2,6 |
| Epley, 1985 | 95,6 | ± 17,4 | 2,7% | 3,4 | 0,409 | 0,981 | 2,6 | ± 3,4 |
| Lander, 1985 | 93,6 | ± 17,1 | 0,6% | 3,6 | 0,854 | 0,978 | 3,1 | ± 5,5 |
| Lombardi, 1989 | 95,2 | ± 17,0 | 2,4% | 2,9 | 0,473 | 0,986 | 2,2 | ± 2,9 |
| O'Connor et al., 1989 | 92,5 | ± 16,6 | -0,6% | 2,7 | 0,857 | 0,987 | -0,5 | ± 2,7 |
| Mayhew et al., 1992 | 92,6 | ± 17,0 | -0,5% | 3,7 | 0,887 | 0,977 | -0,4 | ± 3,7 |
| Brzycki, 1993 | 95,2 | ± 17,5 | 2,4% | 3,8 | 0,478 | 0,974 | 2,2 | ± 4,0 |
| Wathen, 1994 | 97,8 | ± 17,5 | 5,2% | 2,6 | 0,123 | 0,987 | 4,8 | ± 2,9 |
| Kravitz et al., 2003 | 98,1 | ± 7,0 | 5,5% | 9,4 | 0,029 | 0,821 | 5,1 | ± 11,4 |

Nota: 1RM Real = 93,0±16,3 kg

Figura 2. Resultados del análisis Bland-Altman para la validación de la ecuación obtenida en el presente estudio y de los algoritmos disponibles en la literatura internacional para estimar el valor de 1 repetición máxima en el ejercicio de Press Banca, atendiendo a todas las magnitudes de carga (65%-95%1RM; ≤ 25 repeticiones).



Igualmente, la Tabla 3 muestra los valores estimados de 1RM por la ecuación validada en el Estudio I, así como por cada una de las ecuaciones validadas con anterioridad en la literatura para el ejercicio de ST. Así mismo, esta Tabla 3 y la Figura 3 muestran los valores de coeficiente de correlación de Pearson y el sesgo del análisis Bland-Altman entre el valor estimado por cada algoritmo y el valor real de 1RM, tanto para el total de test nRM estudiados ante cualquier magnitud de carga (%1RM), como para exclusivamente aquellos

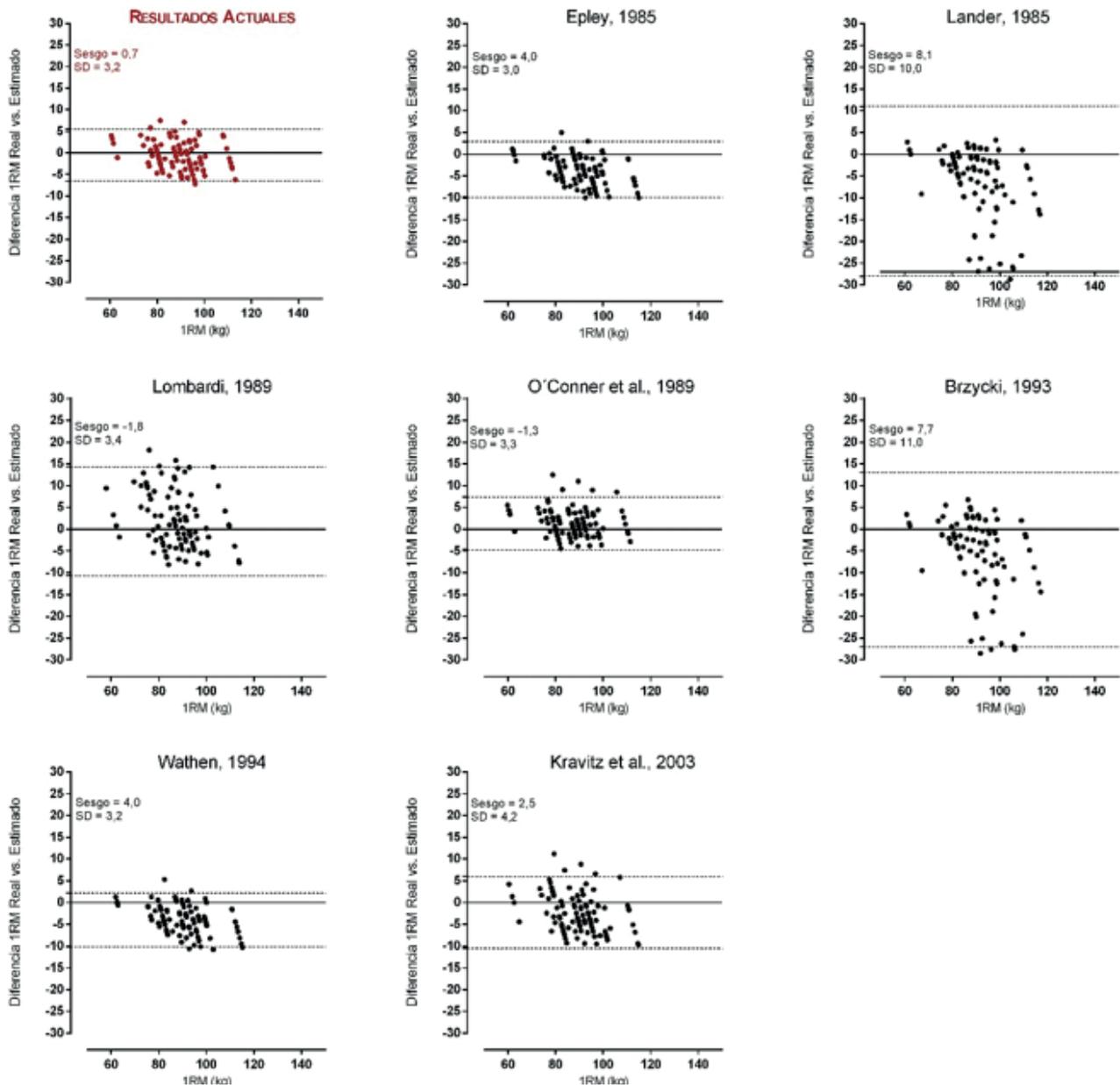
test nRM que se completaron con menos de 11 repeticiones máximas. Al igual que la tabla anterior, en este análisis se muestra la validez de las ecuaciones generales propuestas por los autores para cualquier ejercicio (i.e., ecuaciones generales; Epley, 1985; Lander, 1985; Lombardi, 1989; O'Connor et al., 1989; Brzycki, 1993; Wathen, 1994), así como las ecuaciones propuestas específicamente para el ejercicio de press banca (Kravitz et al., 2003).

Tabla 3. Validez de la ecuación obtenida en el presente estudio y de los algoritmos disponibles en la literatura internacional para estimar el valor de 1 repetición máxima en el ejercicio de Sentadilla Completa, atendiendo a todas las magnitudes de las cargas (65%-95%1RM; < 25 repeticiones), y únicamente las cargas altas (85%-95%1RM; ≤ 10 repeticiones).

| Sentadilla Completa TODOS (n = 120) | 1RM Estimado (kg) | | % DIF | Error Típico (kg) | Prueba T (p valor) | Correlación (R ² valor) | BlandAltman | |
|---|-------------------|---------------|-------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|--------------|
| | Media | DE | | | | | Sesgo | SD |
| *Resultados Actuales | 88,5 | ± 10,7 | 0,6% | 2,2 | 0,576 | 0,956 | -0,7 | ± 3,2 |
| Epley, 1985 | 91,8 | ± 11,0 | 4,3% | 2,6 | 0,108 | 0,964 | 4,0 | ± 3,0 |
| Lander, 1985 | 95,9 | ± 14,9 | 9,0% | 6,6 | 0,000 | 0,746 | 8,1 | ± 10,0 |
| Lombardi, 1989 | 86,0 | ± 11,8 | -2,3% | 5,4 | 0,198 | 0,842 | -1,8 | ± 6,4 |
| O'Connor et al., 1989 | 86,4 | ± 10,5 | -1,8% | 2,9 | 0,306 | 0,955 | -1,3 | ± 3,1 |
| Brzycki, 1993 | 95,5 | ± 15,5 | 8,5% | 7,0 | 0,000 | 0,711 | 7,7 | ± 11,0 |
| Wathen, 1994 | 91,8 | ± 11,1 | 4,3% | 2,7 | 0,004 | 0,961 | 4,0 | ± 3,2 |
| Kravitz et al., 2003 | 90,3 | ± 11,2 | 2,7% | 3,7 | 0,064 | 0,927 | 2,5 | ± 4,2 |
| Sentadilla Completa ≤ 10 REP (n = 60) | 1RM Estimado (kg) | | % DIF | Error Típico (kg) | Prueba T (p valor) | Correlación (R ² valor) | BlandAltman | |
| | Media | DE | | | | | Sesgo | SD |
| *Resultados Actuales | 88,8 | ± 10,2 | 0,9% | 1,8 | 0,664 | 0,976 | -0,6 | ± 2,2 |
| Epley, 1985 | 91,5 | ± 10,5 | 4,0% | 2,2 | 0,063 | 0,975 | 3,5 | ± 2,4 |
| Lander, 1985 | 89,5 | ± 10,3 | 1,7% | 2,4 | 0,414 | 0,970 | 3,4 | ± 4,3 |
| Lombardi, 1989 | 91,4 | ± 10,5 | 3,9% | 2,2 | 0,070 | 0,975 | 3,4 | ± 2,3 |
| O'Connor et al., 1989 | 88,4 | ± 10,1 | 0,5% | 2,1 | 0,828 | 0,978 | 1,2 | ± 2,1 |
| Brzycki, 1993 | 88,3 | ± 10,4 | 0,4% | 3,0 | 0,864 | 0,955 | 1,6 | ± 3,1 |
| Wathen, 1994 | 91,3 | ± 10,6 | 3,7% | 2,5 | 0,084 | 0,967 | 3,3 | ± 2,7 |
| Kravitz et al., 2003 | 93,5 | ± 10,7 | 6,2% | 2,1 | 0,004 | 0,977 | 5,5 | ± 2,4 |

“Nota: 1RM Real = 88,0±9,0 kg”

Figura 3. Resultados del análisis Bland-Altman para la validación de la ecuación obtenida en el presente estudio y de los algoritmos disponibles en la literatura internacional para estimar el valor de 1 repetición máxima en el ejercicio de Sentadilla Completa, atendiendo a todas las magnitudes de carga (65%-95%1RM; < 25 repeticiones).



Discusión

Esta investigación fue diseñada para conocer los niveles de validez que presentan las ecuaciones que ya se encuentran actualmente definidas en la literatura internacional para estimar la magnitud de la carga (%1RM) y el valor de 1RM a partir de un test nRM en ejecuciones con técnica de parada o stop (Conceição et al., 2016; Pallarés et al., 2014b; González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). A la vista de los bajos-mo-

derados niveles de validez encontrados para estas ecuaciones, en este estudio se validó una nueva ecuación de regresión para test nRM en cada uno de los ejercicios analizados Press Banca (PB) y Sentadilla (ST), especialmente diseñada para participantes varones con moderada-alta experiencia en el entrenamiento de fuerza y que emplean la técnica de parada en sus rutinas de entrenamiento y/o valoración de la fuerza muscular.

Todos los tratamientos de datos que se han aplicado en el

Estudio II (i.e., diferencia de medias, cociente de correlación, error típico y sesgo en el acuerdo del gráfico Bland-Altman) muestran que las nuevas ecuaciones propuestas en esta investigación para la estimación del 1RM a partir de test nRM en ambos ejercicios (PB y ST) son sustancialmente más precisas que el resto de regresiones previamente publicadas (Brzycki, 1993; Epley, 1985; Kravitz et al., 2003; Lander, 1985; Lombardi, 1989; O'Connor et al., 1989; Wathen, 1994) (Tabla 2 y 3, Figuras 1, 2 y 3). No obstante, las publicaciones originales de las ecuaciones validadas con anterioridad también mostraban en todos los casos índices de validez superiores a los encontrados para estas mismas regresiones en el Estudio II de esta investigación. Así, por ejemplo, Kravitz et al. (2003) encontraron con sus ecuaciones de estimación ICC superiores a 0,982 entre el valor estimado y el valor real de 1RM en los ejercicios de PB, ST y peso muerto, mientras que en el Estudio II de esta investigación se han registrado valores de ICC aplicando esas mismas ecuaciones notablemente inferiores ($R^2 = 0,977 - 0,819$) en los ejercicios de PB y ST. Por su parte, Mayhew et al. (1992), también reportaron indicadores sustancialmente mejores de validez de su ecuación de estimación del 1RM en el ejercicio de PB (i.e., $R^2 = 0,98$; ET = 4,8 kg) en comparación con los encontrados en esta investigación (0,885 – 0,977; ET = 3,7 – 10,0 kg) para esa misma regresión. La principal justificación a estas diferencias en los indicadores de validez de las ecuaciones previamente validadas, así como de la mejor predicción que aportan las nuevas ecuaciones del Estudio I reside en el estricto protocolo de ejecución del test nRM que se ha llevado a cabo en este estudio, concretamente en lo relativo a la aplicación de la técnica stop o parada (Conceição et al., 2016; González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010), que permite eliminar el ciclo estiramiento acortamiento (CEA) y su efecto potenciador del rendimiento neuromuscular durante la fase concéntrica del movimiento (Komi, 1984), para de esta forma además, incrementar significativamente la reproducibilidad biológica del rendimiento neuromuscular manifestado en la fase concéntrica de ejecuciones isoinerciales (Pallarés et al., 2014a).

Tal y como se puede observar en las Tablas 2 y 3 y Figuras 2 y 3, la capacidad predictiva de las ecuaciones propuestas en la literatura científica para test nRM hasta la fecha es sustancialmente mayor (i.e., menor error de estimación) cuando el test nRM se ejecuta ante intensidades medias o altas (i.e., > 85%1RM; < 10 repeticiones máximas). Los propios autores de estas ecuaciones ya apuntaban en sus publicaciones originales la recomendación de realizar este test ante la mayor magnitud de carga posible (%1RM) (Wood et al., 2002). Concretamente, la mayoría de los autores recomiendan sus ecuaciones predicción del 1RM en test nRM únicamente cuando se alcance el fallo muscular con menos de 15 repeticiones máximas (Mayhew et al., 1992), o incluso para menos de 10 repeticiones máximas (Kravitz et al., 2003). Sin em-

bargo, las ecuaciones validadas en este estudio, seguramente debido a la mejora de la reproducibilidad biológica que aporta a la medida la técnica stop, permite estimar el valor de 1RM a partir de test nRM desde intensidades del 65% 1RM (≤ 18 repeticiones máximas) con un error mínimo en la medida (error típico < 2.2 kg; sesgo < 0.7; Tablas 2 y 3). Aunque los resultados actuales sugieren que sigue siendo recomendable elegir una carga con la que se puedan realizar menos de 10 repeticiones máximas para minimizar el error de estimación, los valores de 1RM estimados por estas nuevas ecuaciones en ambos ejercicios (PB y ST) con técnica stop siguen siendo muy precisos si el atleta o su entrenador hierran en la elección de la carga (kg) y el test nRM le permite completar 10-15 repeticiones, o incluso si voluntariamente se elige una carga baja o moderada (< 75% 1RM) para realizar este procedimiento.

El número de repeticiones que se puede completar hasta el fallo muscular (Tabla 1), y por consiguiente las ecuaciones de estimación de %1RM a partir de test nRM (Figura 1), son sensiblemente diferentes para cada ejercicio de fuerza (PB y ST). Estos resultados sugieren que, al igual que han concluido publicaciones previas con técnica standard o de rebote (Kravitz et al., 2003; Shimano et al., 2006), los resultados de aquellos test nRM que se ejecuten con técnica de parada deberán interpretarse aplicando las ecuaciones desarrolladas específicamente para cada ejercicio de fuerza. Estas diferencias en el número de repeticiones hasta el fallo muscular según el ejercicio de fuerza realizado pueden atribuirse a i) diferencias en la arquitectura de los grupos musculares involucrados en los diferentes ejercicios, así como ii) a las distintas palancas mecánicas implicadas en las diferentes acciones de empuje y tracción del tren superior e inferior (Sánchez-Medina et al., 2014). Los principales impulsores en el ejercicio de ST (i.e., glúteo, cuádriceps y tríceps sural) tienen mayor tamaño y una disposición longitudinal de sus fibras que los hacen más adecuados para desarrollar velocidades de acortamiento más rápidas; mientras que la musculatura involucrada en la PB (pectoral mayor, tríceps braquial y deltoides anterior) se caracteriza por longitudes de fibra más cortas, mayores ángulos de penetración, y por lo tanto mayor capacidad de generación de fuerza (Koryak, 2008; Lieber & Fridén, 2000).

Algunas investigaciones previas han detectado otros factores que pueden afectar significativamente al número de repeticiones completadas hasta el fallo muscular como son el sexo (hombre o mujer; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990) o el nivel de experiencia de los participantes con el entrenamiento de fuerza y, muy especialmente, con el dominio de las técnicas de ejecución sometidas a estudio (Braith, Graves, Leggett & Pollock 1993; Hoeger et al., 1990). Resulta importante, por lo tanto, contextualizar las ecuaciones propuestas en esta publicación, así como sus indicadores de validez, exclusivamente para individuos varones con moderados-altos

niveles de fuerza (i.e., PB y ST 1RM relativos superior a 1.0) y una notable experiencia en el entrenamiento con cargas.

A pesar de que estas ecuaciones permiten al usuario estimar con mayor precisión el valor real de 1RM en cada uno de los ejercicios estudiados, es necesario recordar que la desventaja fundamental del test nRM es la extrema fatiga mecánica y metabólica que genera la realización de repeticiones hasta el fallo muscular (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011), y el consiguiente desajuste en la programación del entrenamiento de las sesiones inmediatamente posteriores a la realización del test (6-48h) (Pareja-Blanco et al., 2016). Por ello, la opción del test nRM sólo debe ponerse en práctica cuando no se disponga de la monitorización de la velocidad desplazamiento de las cargas.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación sugieren que la ejecución de test nRM con técnica stop (i.e., 1,0-1,5 s de parada entre fases concéntrica y excéntrica del movimiento) incrementan notablemente la reproducibilidad biológica y garantizan una medida más precisa y estable del número de repeticiones que se pueden completar hasta el fallo muscular con cargas bajas, medias y altas (i.e., 65%, 75%, 85% y 95% 1RM).

En esta investigación se han definido ecuaciones propias de estimación del valor de 1RM para test nRM con técnica stop en los ejercicios de press banca y sentadilla completa, cuyos indicadores de validez son sustancialmente mejores que los que pueden alcanzar otras ecuaciones publicadas previamente en la literatura internacional hasta la fecha.

Las ecuaciones validadas en esta investigación, y por tanto su capacidad predictiva, se han de contextualizar exclusivamente para participantes varones en ejecuciones con técnica

stop, con moderada-alta experiencia en el entrenamiento de cargas y elevados niveles de fuerza (1RM relativo a la masa corporal superior a 1.0). En otro tipo de participantes los indicadores de validez reportados en esta investigación podrían ser sustancialmente menores.

Aplicaciones prácticas

- Al contrario de lo que ocurre con las ecuaciones validadas anteriormente para técnicas de ejecución estándar o rebote, estas nuevas ecuaciones de regresión para técnica stop continúan teniendo elevados índices de validez cuando el test nRM se completa ante cargas inferiores al 85% 1RM, es decir, cuando el participante completa un número elevado de repeticiones máximas (i.e., entre 10 y 18 repeticiones).
- Dadas las características biomecánicas de cada ejercicio de fuerza, así como de las diferentes propiedades fisiológicas y neuromusculares que ostentan los distintos músculos implicados, el número de repeticiones que se pueden completar hasta el fallo muscular es sensiblemente diferente para cada ejercicio, incluso cuando se ejecutan con técnica stop. Por ello, será necesario aplicar la ecuación propia de cada ejercicio de fuerza para estimar el valor de 1RM en base a test nRM.
- A pesar de las importantes mejoras y ventajas que aportan estas nuevas ecuaciones de predicción con técnica de parada para test nRM, la valoración del rendimiento neuromuscular monitorizando la velocidad de desplazamiento de las cargas continúa siendo una opción más aconsejable y ventajosa en comparación a los test 1RM o nRM.

Referencias bibliográficas

1. Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). *Measuring agreement in method comparison studies. Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135-160.
2. Braith, R. W., Graves, J. E., Leggett, S. H., & Pollock, M. L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 132-138.
3. Brzycki, M. (1993). Strength testing: predicting a one-rep max from reps to fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 64:88-90.
4. Clarke, D. H., & Herman, E. L. (1955). Objective determination of resistance load for ten repetitions maximum for quadriceps development. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 26(4), 385-390.
5. Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J. J., & Jiménez-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of Sports Sciences*, 34(12), 1099-1106.
6. Epley, B. (1985). Poundage chart. In: *Boyd Epley Workout*. Lincoln, NE: Body Enterprises, p. 86
7. Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Herman, R., Naclerio, F., Rattames, N. A., Kang, J., & Myer, G. D. (2012). Reliability of the one repetition-maximum power clean test in adolescent athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 432-440.
8. García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A., & Izquierdo, M. (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 106(4), 629-638.
9. García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., Izquierdo-Gabarrón, M., & Izquierdo, M. (2010). Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(6), 1209.
10. González-Badillo, J., & Gorostiaga, E. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo* (Vol. 302). Barcelona, España: Inde.
11. González-Badillo, J. G., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 347-352.
12. González-Badillo, J. J., & Ribas-Serna, J. R. (2002). *Bases de la pro-*

- gramación del entrenamiento de fuerza (Vol. 308). Barcelona, España: Inde.
13. Hoeger, W. W., Hopkins, D. R., Barette, S. L., & Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 4(2), 47-54.
 14. Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12, 81-121.
 15. Koryak, Y. A. (2008). Functional and clinical significance of the architecture of human skeletal muscles. *Human Physiology*, 34(4), 482-492.
 16. Kravitz, L., Akalan, C., Nowicki, K., & Kinzey, S. J. (2003). Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 167-172.
 17. Lander, J. (1985). Maximum based on reps. *NSCA Journal*, 6, 60-1.
 18. Levinger, I., Goodman, C., Hare, D. L., Jerums, G., Toia, D., & Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(2), 310-316.
 19. Lieber, R. L., & Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve* 2000; 23: 1647-1666
 20. Lombardi, V. P. (1989). *Beginning Weight Training*. Dubuque, IA: W.C. Brown.
 21. López-Gullón, J. M., Muriel, X., Torres-Bonete, M. D., Izquierdo, M., & García-Pallarés, J. (2011). Physical fitness differences between Freestyle and Greco-Roman elite wrestlers. *Archives of Budo*, 1(7), 217-225.
 22. Mayhew, J. L., T. Ball, M. Arnold, & J. Bowen. (1992). Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 6(4), 200-206.
 23. Mayhew, J. L., Ware, J. R., & Prinstner, J. L. (1993). Test & measurement: Using Lift Repetitions to Predict Muscular Strength in Adolescent Males. *Strength & Conditioning Journal*, 15(6), 35-38.
 24. Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Gullón, J. M., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E., & Ortega, J. F. (2015). Improvements on neuromuscular performance with caffeine ingestion depend on the time-of-day. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(3), 338-342.
 25. Morán-Navarro, Martínez-Cava, A., Sánchez-Medina, L., Mora-Rodríguez, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2017). Movement velocity as a measure of level of effort during resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. In Press.
 26. O'Connor, B., Simmons, J., & O'Shea, P. (1989). *Weight Training Today*. St. Paul, MN: West Publishing.
 27. Pallarés, J. G., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., De La Cruz-Sánchez, E., & Mora-Rodríguez, R. (2014a). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1165-1175.
 28. Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Moreno, J., Fernández-Elías, V. E., Ortega, J. F., & Mora-Rodríguez, R. (2014b). Circadian rhythm effects on neuromuscular and sprint swimming performance. *Biological Rhythm Research*, 45(1), 51-60.
 29. Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E., Aguado-Jiménez, R., Ortega, J. F., Gómez, C., Ventura, R., Segura J. & Mora-Rodríguez, R. (2015). Pseudoephedrine and circadian rhythm interaction on neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(6), e603-e612.
 30. Pallarés, J. G., & Morán-Navarro, R. (2012). Methodological approach to the cardiorespiratory endurance training. *Journal of Sport and Health Research*, 4, 109-19.
 31. Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2016). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. In Press.
 32. Sá, M. A., Matta, T. T., Carneiro, S. P., Araujo, C. O., Novaes, J. S., & Oliveira, L. F. (2016). Acute Effects of Different Methods of Stretching and Specific Warm Ups on Muscle Architecture and Strength Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (8), 2324-9.
 33. Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1725-1734.
 34. Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., Pérez, C. E. & Pallarés, J. G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(3), 209-216.
 35. Sánchez-Medina, L., Pallarés, J. G., Pérez, C. E., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Medicine International Open*, 1(02), E80-E88.
 36. Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., ... & Newton, R. U. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 819-823.
 37. Wathen, D. (1994). Load assignment. In: *Essentials of Strength Training and Conditioning*. T.R. Baechle (ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, pp: 435-439,
 38. 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.