

Article

Nota Técnica sobre el Uso de la Velocidad de Movimiento para Estimar la Carga Relativa en Ejercicios de Fuerza - Carta al Editor

Technical Note on Using the Movement Velocity to Estimate the Relative Load in Resistance Exercises - Letter to the Editor

F. Naclerio y E. Larumbe-Zabala

RESUMEN

Los estudios de Sánchez-Medina et al. (Sports Medicine International Open, 1 (02), E80-E88. 2017) y González-Badillo y Sánchez-Medina (Int J Sports Med, 31, 347-52. 2010) intentaron proporcionar una buena estimación de la carga relativa a partir de la velocidad de movimiento medida en press de banca y sentadilla completa. Sin embargo, ambos estudios mencionados anteriormente contienen inconvenientes metodológicos relacionados con las ecuaciones predichas para abordar la relación carga-velocidad que los entrenadores deberían tener en cuenta.

Palabras Clave: Relación carga-velocidad, %1 RM, análisis de regresión longitudinal

Estimado Editor,

Leemos con gran interés los estudios de Sánchez-Medina et al. [8] y González-Badillo y Sánchez-Medina [3] cuyo principal objetivo fue proporcionar una estimación de la carga relativa a partir de la velocidad de movimiento medida en press de banca y en sentadilla completa. Desafortunadamente, los análisis utilizados no son correctos y, en nuestra opinión, podrían mostrar una sobreestimación de la carga relativa; en consecuencia, esto puede no ser útil para los entrenadores.

El reciente aumento en el uso de dispositivos como acelerómetros, transductores de velocidad o cámaras capaces de calcular la velocidad durante los ejercicios de fuerza, permite estimar 1RM y las cargas de entrenamiento relativas a partir de la relación entre la velocidad de movimiento y la carga relativa (%1RM). Varios estudios han informado sobre ecuaciones apropiadas para estimar la carga relativa a partir de mediciones de velocidad [1, 3-6, 8]. Dos estudios han propuesto relaciones muy cercanas ($R^2 > 0,94$) entre la velocidad media de aceleración (calculada a partir de momento de aceleración de la fase concéntrica, durante el cual la aceleración de la barra fue $\geq -9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) y la velocidad media con el % 1RM utilizado durante el press de banca [3] y la sentadilla completa [8] realizados en la máquina Smith. A pesar de que las investigaciones mencionadas anteriormente ofrecen información práctica y útil para ayudar a los entrenadores a controlar el entrenamiento de fuerza, hay varios asuntos que merecen nuestra atención. En ambos casos, los autores utilizaron una ecuación polinómica de segundo grado entre la carga relativa (% 1RM) y la velocidad media o de aceleración, medida sobre la fase concéntrica. Para el ejercicio de press de banca, los autores incluyeron más de una evaluación de carga-velocidad por participante. Este proceso estadístico puede haber sobreestimado el ajuste de datos debido a la presencia de autocorrelación. La autocorrelación ocurre cuando los residuales no son independientes el uno del otro. Cuando se usa más de una observación del mismo participante para calcular la relación carga-velocidad, las observaciones ya no pueden ser independientes y el R^2 resultante se verá aumentado [2, 7].

Aunque para el estudio de sentadilla completa los autores seleccionaron solo una repetición por serie basada en la velocidad de aceleración más rápida, el coeficiente de determinación calculado que evalúa la relación entre carga (%1RM) y velocidad utilizando polinomios de segundo grado aún sobreestimaría el ajuste de datos. Cuando se realizan las mediciones múltiples, para controlar el efecto de las series/repeticiones previas durante el test progresivo, los datos deberían ajustarse realizando un análisis de regresión longitudinal. Por lo tanto, con el objetivo de prevenir el sesgo de cálculo y obtener resultados comparables a estudios similares [1, 4-6], alentamos a los autores a utilizar un análisis de regresión longitudinal de las evaluaciones.

Además, es importante resaltar que cuando se ha realizado press de banca y sentadilla completa en una máquina Smith, las ecuaciones resultantes deberían limitarse a este escenario particular. Las ecuaciones no son aplicables a estos mismos ejercicios que utilizan pesos libres, usados normalmente por los atletas.

Referencias

- [1] Bautista IJ, Chiroso IJ, Tamayo IM, Gonzalez A, Robinson JE, Chiroso LJ, Robertson RJ. Predicting Power Output of Upper Body using the OMNI-RES Scale. *J Hum Kinet* 2014; 44: 161-169
- [2] Bland JM, Altman DG. Correlation, regression, and repeated data. *BMJ* 1994; 308: 896
- [3] Gonzalez-Badillo JJ, Sanchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 2010; 31: 347-352
- [4] Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 267-270
- [5] Naclerio F, Larumbe-Zabala E. Relative Load Prediction By Velocity and The Omni-Res 0-10 Scale In Parallel Squat. *J Strength Cond Res* 2016
- [6] Naclerio F, Larumbe-Zabala E. Loading Intensity Prediction by Velocity and the OMNI-RES 0-10 Scale in Bench Press. *J Strength Cond Res* 2017; 31: 323-329
- [7] Rencher AC, Pun FC. Inflation of R2 in Best Subset Regression. *Technometrics* 1980; 22: 49-53
- [8] Sánchez-Medina L, Pallarés JG, Pérez CE, Morán-Navarro R, González-Badillo JJ. Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat. *Exercise Sports Medicine International Open* 2017; 1: E80-E88

Autores

Fernando Naclerio¹, Eneko Larumbe-Zabala²

Afiliaciones

1 Departamento de Ciencias de la Vida y del Deporte, Universidad de Greenwich, Reino Unido

2 Instituto de Investigaciones Clínicas, Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad Tecnológica de Texas, Lubbock, TX, EEUU

Bibliografía

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-118710> *Sports Medicine International Open* 2017; 1: 1 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York ISSN 2367-1890

Respuesta

Nota Técnica sobre el Uso de la Velocidad de Movimiento para Estimar la Carga Relativa en Ejercicios de Fuerza

Estimado Editor,

Gracias por la oportunidad de responder a los puntos planteados por Naclerio & Larumbe-Zabala con respecto a nuestro reciente artículo [5] en *Sports Medicine International Open*. Este estudio proporcionó una descripción detallada de la relación carga-velocidad en el ejercicio de sentadilla completa junto con las importantes y novedosas aplicaciones que pueden derivar de esta relación en la práctica del ejercicio de fuerza.

Nos complace que nuestros datos hayan proporcionado incentivo para futuras investigaciones. Sin embargo, nos gustaría señalar que la mayoría de las críticas expresadas por Naclerio & Larumbe-Zabala en su Carta al Editor se dirigen a un artículo publicado en el año 2010 en otra revista científica [1] que analizó el ejercicio de press de banca, y no al presente estudio que involucró la sentadilla. Sin embargo, dado que ambos estudios están relacionados de muchas maneras y forman la base de la línea de investigación del entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, iniciada por nuestro grupo y desarrollada durante las últimas dos décadas, nos complace atender sus inquietudes.

En su carta, los autores expusieron que los análisis de datos que realizamos no eran correctos y podrían conducir a una sobreestimación de la carga relativa. Si los autores se hubiesen tomado el tiempo para comparar los datos de las estimaciones de la carga relativa (porcentaje de una repetición máxima, %1RM) a partir de la velocidad media (VM) obtenidos al usar las ecuaciones proporcionadas por nosotros ($Carga = 7,5786 VM^2 - 75,865 VM + 113,02$) [1] y por ellos ($Carga = 107,75 - 62,97 VM$) [3] para el ejercicio de press de banca, podrían haber verificado fácilmente que no existe tal sobreestimación. Así, por ejemplo, al comparar las cargas relativas correspondientes a los valores de VM dentro de un rango de 1,15 a 0,20 m·s⁻¹ (~35 - 98 % 1RM), y al calcular las cargas para cada cambio de 0,05 m·s⁻¹ en la VM, existe una diferencia media casi insignificante de 0,65 % 1RM al usar nuestra ecuación comparada con la de ellos, con una diferencia mínima de - 0,22 % 1RM (para 0,85 m·s⁻¹) y una diferencia máxima de 2,99 % 1RM (para 0,20 m·s⁻¹). Nuestros análisis no pueden ser tan incorrectos cuando la correlación entre las cargas obtenidas utilizando las dos ecuaciones mencionadas anteriormente es $r = 0,9995$ dentro de un rango de velocidad de 1,15 a 0,18 m·s⁻¹. Curiosamente, este mismo análisis parece indicar que nuestra ecuación cuadrática sí se ajusta, de hecho, mejor a los puntos de datos de carga-velocidad obtenidos. En nuestro estudio [1], la velocidad media real alcanzada con la carga de 1RM (V1RM) fue de $0,16 \pm 0,04$ m·s⁻¹, mientras que fue muy similar, aunque algo más variable ($0,162 \pm 0,07$ m·s⁻¹ para los hombres) en el estudio de Naclerio & Larumbe-Zabala [3]. Al usar su ecuación para estimar la carga a partir de este valor de VM de 0,16 m·s⁻¹, se obtiene una carga de 97,6 % 1RM, mientras que una carga de 100,9 % 1RM resulta cuando usamos la nuestra. Esto indica que su ecuación [3] para estimar la carga relativa a partir de la VM se desvía del valor medido real (que tiende a subestimarse un poco) más que nuestra ecuación original [1], especialmente para las velocidades más lentas ($VM \leq 0,20-0,25$ m·s⁻¹), es decir, las correspondientes a las cargas más pesadas (≥ 95 % 1RM). En consecuencia, esta ecuación reciente [3] parece ofrecer poco valor adicional, si es que tiene alguno, en comparación con el publicado por nosotros hace siete años [1].

En nuestro estudio original [1], 56 de los 120 hombres bien entrenados que conformaron la muestra total realizaron el test de carga progresiva en el ejercicio de press de banca dos veces, siendo evaluados en una segunda ocasión luego de un período de 6 semanas de entrenamiento de fuerza. Los datos de carga (% 1RM) -velocidad de estas dos pruebas de cada sujeto se agregaron intencionalmente a la muestra total después de verificar que las ecuaciones de carga-velocidad obtenidas eran casi idénticas cuando se consideraron los datos derivados de los 120 sujetos o los 176 tests como la muestra de datos. En este sentido, el pie de foto de la Figura 1 de ese estudio [1] indica claramente que se incluyeron 176 tests (no sujetos). La ecuación obtenida cuando sólo se considera el primer test realizado por cada sujeto ($n = 120$) ahora se proporciona para cualquiera que desee verificar los hallazgos obtenidos:

$$VMP = - 0,00003233 \text{ Carga}^2 - 0,02022 \text{ Carga} + 1,881$$

$$(R^2 = 0,980; \text{EEE} = 0,060 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}; N = 1045)$$

Donde VMP corresponde al valor de la velocidad media propulsiva [6] y la Carga se expresa como el porcentaje de 1RM.

Los valores de VMP obtenidos para cada carga entre 30 y 100 % 1RM conseguidos al usar la ecuación proporcionada anteriormente en comparación con la ecuación original [1] difieren entre 0 y 0,003 m·s⁻¹ (tres milésimas de metro por segundo!). Además, como se puede observar, el coeficiente de determinación (R^2), un indicador de la generosidad del ajuste, se mantiene en 0,98. Por lo tanto, la inclusión de esos 56 tests adicionales no resultó en que R^2 se incrementara como Naclerio & Larumbe-Zabala sugirieron en su carta. En este aspecto particular, las referencias [2,7] proporcionadas por los autores no son pertinentes a esta pregunta ya que solo hemos medido una variable y no estamos utilizando un análisis de regresión múltiple. Otra evidencia de la validez de nuestros hallazgos proviene de otro estudio publicado de nuestro grupo de investigación [4] donde se compararon las relaciones de carga-velocidad y carga-potencia de los ejercicios de press de banca y remo con barra en banco en una muestra diferente de 75 hombres. La ecuación de carga-velocidad obtenida ($R^2 = 0,97$) se proporcionó en la Figura 2 de ese estudio [4]. Al comparar de nuevo los resultados al aplicar esta ecuación [4] a las del original [1], dentro de un rango de carga de 30-100 % 1RM, la diferencia máxima para cualquier porcentaje dado de 1RM es 0,01 m·s⁻¹.

En nuestro reciente estudio que analiza la relación carga-velocidad del ejercicio de sentadilla [5], se explica y discute claramente (ver Tabla 2 y Figura 3 del artículo) que cuando los datos de la muestra total ($n = 80$) se dividen en subgrupos de rendimiento de fuerza relativa significativamente diferente (1RM/masa corporal) - algo que ya se había hecho en nuestro artículo original [1] -, no se encontraron diferencias para la velocidad alcanzada frente a cada porcentaje de 1RM, velocidad de prueba media o V1RM. Este es un hallazgo muy importante que refuerza la aplicabilidad práctica para controlar la velocidad de movimiento durante el entrenamiento de fuerza. Los resultados obtenidos al aplicar cualquiera de las ecuaciones correspondientes a los tres subgrupos de muestra ($n = 24, 29$ y 27 sujetos, respectivamente), como se ilustra en la Figura 3, no son diferentes de los resultantes de la ecuación para la muestra total (Figura 2b).) Además, los valores de R^2 (0,96) y EEE (0,06 m·s⁻¹) son idénticos.

Otro tema planteado en esta Carta al Editor fue la afirmación de que el uso de polinomios de segundo grado sobreestimaría el ajuste de los datos. Como se explicó en la sección Métodos de nuestro artículo [5], "las relaciones entre

carga y velocidad se estudiaron ajustando polinomios de segundo grado a los datos porque proporcionaron ajustes ligeramente mejores que las funciones lineales". Dentro de un rango dado de posibles valores (en este caso, valores para la carga relativa y la velocidad de movimiento), el modelo que proporciona el mejor ajuste debería ser el seleccionado si nuestro objetivo es obtener la estimación más precisa de una variable a partir de otra (carga a partir de velocidad o viceversa). ¿Por qué entonces no usar un polinomio de segundo grado (un modelo bastante simple), en lugar de uno de primer grado (ecuación lineal), si se ajusta mejor a los datos disponibles? En todos nuestros estudios previamente discutidos [1, 4, 5] se realizó una comparación de los modelos de ajuste lineal y cuadrático utilizando el test F de suma de cuadrados extra que puede comparar dos modelos si uno es un caso especial del otro (como lo es el caso con los modelos lineales y cuadráticos). La hipótesis nula siempre fue para seleccionar el modelo más simple (ecuación lineal) a menos que el valor de P fuera menor a 0,05. Estas comparaciones de modelo se realizaron utilizando Prism 6.07 para Windows (GraphPad Software Inc., La Jolla, CA, EEUU) e indicaron que el modelo preferido siempre fue el cuadrático ($P < 0,0001$). Una inspección visual de los diagramas de dispersión de datos de carga-velocidad (ver Figuras 2 y 3 de nuestro estudio [5]) parece revelar una mejor correspondencia con el modelo cuadrático en lugar del lineal. En cualquier caso, las diferencias obtenidas al ajustar una ecuación lineal o cuadrática a los datos actuales [5] son muy sutiles. En este sentido, hemos comparado los valores de la VMP obtenidos de un ajuste lineal frente a uno cuadrático para una carga dada entre 40-100 % 1RM y encontramos que la ecuación lineal parece sobreestimar ligeramente las velocidades (+ 0,03-0,05 m·s⁻¹) en ambos extremos del rango de carga (<50 % 1RM y >95 % 1RM) y subestimar levemente (-0,02 m·s⁻¹) las velocidades asociadas a las cargas medianas (~65-80 % 1RM). Como se indicó en la sección Resultados [5], es notable que los ajustes cuadráticos individuales para cada test proporcionaron un valor de R² de $0,995 \pm 0,004$ (rango: 0,983-1,000; CV = 0,35 %) para VM y $0,995 \pm 0,003$ (rango: 0,986-1,000; CV = 0,33%) para VMP (resultados similares habían sido obtenidos previamente para el press de banca [1]). Tomados en conjunto, creemos que todos estos hallazgos son tan convincentes que no dejan lugar a dudas.

Con respecto a la sugerencia de Naclerio y Larumbe-Zabala de utilizar un análisis de regresión longitudinal, debemos expresar reservas sobre la conveniencia y la utilidad de dicho tipo de análisis de datos para el tipo de estudios discutidos aquí [1, 3-5]. Un estudio longitudinal se refiere a una investigación donde los resultados de los sujetos y posiblemente los tratamientos o las exposiciones se recopilan en múltiples períodos de seguimiento. Generalmente produce medidas múltiples o repetidas en cada sujeto. El hecho de que los sujetos necesiten realizar varias repeticiones (normalmente de 3 a 1 a medida que aumenta la carga) frente a diferentes cargas ascendentes, en nuestra opinión, nuestro estudio no clasifica en esta categoría. La realización de un test de carga en el que se levantan cargas progresivamente más pesadas hasta alcanzar un máximo (1RM en este caso) es fisiológicamente necesaria para poder obtener el mejor rendimiento posible (expresado como la velocidad de movimiento más rápida en el presente caso) frente a cada una de esas cargas crecientes.

Nos gustaría recomendar a los autores de esta Carta al Editor que seleccionen la velocidad media de la fase propulsiva [2, 6], en lugar de la velocidad media de toda la fase concéntrica, como la variable de elección en sus futuras investigaciones, ya que ha sido demostrado ser un mejor indicador del potencial neuromuscular de un individuo, especialmente al levantar cargas livianas y medianas [6]. También los alentamos a emplear términos bien definidos y ampliamente utilizados, como "velocidad media propulsiva" [6] en lugar de "velocidad media de aceleración".

Finalmente, con respecto a la afirmación sin fundamento que cuestiona la aplicabilidad de las ecuaciones obtenidas en nuestros estudios [1, 5] a los ejercicios de peso libre, debemos discrepar con los autores. Parece oportuno reafirmar que es precisamente la V1RM de cada ejercicio de entrenamiento de fuerza la que determina la velocidad media alcanzada frente a cada porcentaje de 1RM (ver la sección de Discusión de nuestro trabajo [5]). Dicho esto, una prueba de la validez de nuestras ecuaciones para su uso en ejercicios de peso libre es proporcionada por los propios autores [3] cuando encontraron una V1RM media para el press de banca de peso libre de 0,16 m·s⁻¹, un valor casi idéntico al informado previamente por nosotros [1, 4]. Además, en nuestra amplia experiencia de utilizar ejercicios de fuerza en muchos escenarios de investigación y con diferentes poblaciones, así como en el entrenamiento de cientos de atletas, desde profesionales recreativos hasta profesionales de alto nivel en muchos deportes (incluyendo varios medallistas de oro olímpicos), estas ecuaciones [1, 4, 5] (y otras muy similares desarrollados previamente) han demostrado ser perfectamente válidas para su uso no solo en máquinas guiadas tipo Smith, sino también cuando se entrena utilizando pesos libres siempre que los ejercicios se realicen con una técnica de ejecución adecuada y un rango de movimiento adecuado.

Agradecemos a Naclerio & Larumbe-Zabala por su interés en nuestros estudios, demostrando que la novedad y la importancia de nuestra investigación ha llamado su atención. Esperamos que este debate haya sido fructífero y genere nuevas preguntas y mejores investigaciones en el futuro cercano.

Referencias

[1] 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

- [2] Jidovtseff B, Croisier JL, Scimar N, Demoulin C, Maquet D, Crielaard JM. The ability of isoinertial assessment to monitor specific training effects. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48: 55-64
- [3] Naclerio F, Larumbe-Zabala E. Loading intensity prediction by velocity and the OMNI-RES 0-10 scale in bench press. *J Strength Cond Res* 2017; 31: 323-329
- [4] 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
- [5] Sánchez-Medina L, Pallarés JG, Pérez CE, Morán-Navarro R, González-Badillo JJ. Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Med Int Open* 2017; 1: E80-E88
- [6] Sánchez-Medina L, Pérez CE, González-Badillo JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med* 2010; 31: 123-129

Autores

Luis Sánchez-Medina¹, Jesús G. Pallarés², R Morán-Navarro², Carlos E. Pérez³, Juan José González-Badillo⁴

Afiliaciones

1 Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte. Gobierno de Navarra, Pamplona, España

2 Laboratorio de Ciencias de Deporte y Rendimiento. Universidad de Murcia, España

3 Centro de Medicina del Deporte. Universidad de Murcia, España

4 Facultad de Deporte. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España

REFERENCIAS

1. DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-118710> (Sports Medicine International Open 2017; 1: 1). © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart. *New York ISSN 2367-1890*

Cita Original

Naclerio F, Larumbe-Zabala E. Technical Note on Using the Movement Velocity to Estimate the Relative Load in Resistance Exercises - Letter to the Editor. *Sports Medicine International Open* 2017; 1: 1.