

TRABAJO FINAL DE GRADO



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Creación de un nuevo perfil de carga-velocidad para la estimación de un RM en jóvenes futbolistas

Alumno: Jaime González López

Tutor académico: Iván Peña González

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Curso académico: 2025-2026

ÍNDICE

Resumen y Palabras clave:	3
Introducción:	4
Metodología:	6
Referencias:	9



Resumen

El entrenamiento de fuerza en el fútbol de formación exige herramientas de evaluación precisas, seguras y aplicables en contextos con recursos limitados. Los perfiles carga-velocidad (Load-Velocity Profile, LVP) permiten estimar la repetición máxima (1RM) de forma indirecta a partir de la relación lineal entre la carga relativa y la velocidad media propulsiva, sin necesidad de llevar al deportista al fallo muscular. Sin embargo, la influencia del estado madurativo sobre sus parámetros en jóvenes futbolistas no ha sido suficientemente estudiada. Los objetivos del presente trabajo fueron: (1) diseñar un perfil de carga-velocidad específico para jóvenes futbolistas en el ejercicio de sentadilla con barra libre, comparando la precisión en la estimación del 1RM entre un bloque de cargas bajas (40–50% del 1RM) y un bloque de cargas altas (70–80% del 1RM); y (2) analizar si el estado madurativo (pre-PHV vs. post-PHV) influye en las características de dicho perfil. Participaron 100 jóvenes futbolistas masculinos (categorías U13–U16) de la Academia Itango de Elche. Tras dos semanas de familiarización y una evaluación inicial del 1RM, los jugadores fueron asignados aleatoriamente —con independencia de su estado madurativo— a uno de los dos bloques de carga y completaron ocho semanas de intervención con dos sesiones semanales. La velocidad media propulsiva se registró en cada repetición mediante un encoder lineal (Vitruve, España) y el estado madurativo se estimó a través del maturity offset según la ecuación de Mirwald et al. (2002). Al finalizar la intervención se realizó una evaluación final del 1RM con idéntico protocolo. Los resultados aportarán evidencia sobre qué rango de carga permite construir perfiles más precisos en esta población y si la maduración biológica debe considerarse en su aplicación práctica.

Palabras clave: perfil carga-velocidad, repetición máxima, jóvenes futbolistas, sentadilla, estado madurativo, pico de velocidad de crecimiento, entrenamiento de fuerza, velocidad media propulsiva.

Introducción:

El entrenamiento de fuerza en jóvenes deportistas constituye un área de creciente interés en las ciencias del deporte, especialmente en el contexto del fútbol de formación. La capacidad de cuantificar la fuerza máxima de un deportista, habitualmente expresada como una repetición máxima (1RM), resulta fundamental para individualizar las cargas de entrenamiento y optimizar el rendimiento físico. Sin embargo, tal y como recogen Faigenbaum et al. (2009) en la declaración de posición de la NSCA sobre el entrenamiento de fuerza en jóvenes, la evaluación directa del 1RM en esta población presenta limitaciones de seguridad y elevadas exigencias técnicas que deben tenerse en cuenta especialmente cuando los jugadores carecen de experiencia previa en el ejercicio de fuerza (Lloyd et al., 2014).

Para estimar el 1RM existen, de manera general, métodos directos, basados en la ejecución de series progresivas hasta alcanzar la máxima carga que el deportista puede desplazar correctamente en una repetición, e indirectos, que calculan el valor máximo mediante fórmulas matemáticas a partir del número de repeticiones completadas con una carga submáxima (Brzycki, 1993; Epley, 1985; Lander, 1985). Sin embargo, ambos enfoques presentan limitaciones relevantes en el contexto del deporte de formación: los métodos directos conllevan riesgos de seguridad, elevadas exigencias técnicas y una importante fatiga acumulada; mientras que las fórmulas indirectas, aunque más accesibles, fueron desarrolladas y validadas principalmente en adultos entrenados, lo que limita su precisión cuando se aplican a jóvenes deportistas (Mayhew et al., 1992; Reynolds et al., 2006).

Ante estas limitaciones, la velocidad de ejecución ha ganado protagonismo como indicador objetivo de la intensidad relativa del esfuerzo en el entrenamiento de fuerza. En este sentido, la relación entre la carga desplazada y la velocidad media propulsiva suele describirse mediante modelos lineales, de forma que, a medida que aumenta la carga, disminuye la velocidad de ejecución. Esta relación permite construir perfiles carga-velocidad individuales, a partir del registro de diferentes cargas submáximas, y estimar la carga máxima teórica sin necesidad de llevar al deportista al fallo muscular, reduciendo así la fatiga acumulada y las exigencias asociadas a la evaluación directa del 1RM (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Jovanović & Flanagan, 2014; Pérez-Castilla et al., 2019; Weakley et al., 2021).

No obstante, los parámetros de esta relación, principalmente la pendiente y el intercepto de la recta de regresión, pueden variar en función del ejercicio evaluado, el material utilizado, la profundidad de ejecución y las características de la población estudiada. En el caso concreto de la sentadilla, se han descrito perfiles específicos diferenciando entre la ejecución en máquina Smith y en peso libre, así como entre distintas profundidades de bajada, como el cuarto de sentadilla, la media sentadilla o la sentadilla completa/paralela (Pállarés et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2017). Aunque la relación carga-velocidad ha mostrado una alta reproducibilidad dentro de un mismo ejercicio y bajo condiciones estandarizadas, las ecuaciones obtenidas en adultos podrían no ser directamente extrapolables a poblaciones jóvenes, ya que la maduración biológica puede introducir variabilidad adicional en los parámetros del perfil (Radnor et al., 2018; Lloyd et al., 2016). Por ello, resulta necesario construir perfiles carga-velocidad específicos para jóvenes deportistas, atendiendo tanto al ejercicio como a las condiciones concretas de ejecución utilizadas en la práctica.

En jugadores de fútbol en categorías formativas, esta cuestión resulta especialmente relevante debido a la considerable variabilidad interindividual en el estado madurativo. El estado madurativo hace referencia al grado de madurez biológica de un individuo y puede estimarse mediante el Pico de Velocidad de Crecimiento —PHV, del inglés *Peak Height Velocity*—, definido como el momento de mayor aceleración del crecimiento en estatura durante la adolescencia, que suele producirse en torno a los 14 años en chicos (Mirwald et al., 2002). Los jugadores que aún no han alcanzado el PHV —pre-PHV— y aquellos que ya lo han superado —post-PHV— pueden presentar diferencias en composición corporal, masa muscular y características neuromusculares (Radnor et al., 2018), factores que podrían repercutir sobre la pendiente y el intercepto del perfil carga-velocidad y, en consecuencia, sobre la precisión de la estimación del 1RM cuando se emplean perfiles no específicos para esta población. Sin embargo, hasta la fecha, son escasos los estudios que han analizado las

características de los perfiles carga-velocidad en jóvenes futbolistas atendiendo a su estado madurativo (Peña-González et al., 2019; Fernández-Galván et al., 2022).

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue analizar si el estado madurativo —pre-PHV vs. post-PHV— influye en las características del perfil carga-velocidad durante el ejercicio de sentadilla con barra libre en jóvenes futbolistas, considerando parámetros como la pendiente, el intercepto y la velocidad asociada a diferentes cargas relativas.

Metodología

Participantes

Participaron en el estudio 100 jóvenes jugadores de fútbol masculinos pertenecientes a un club de fútbol. Los criterios de inclusión fueron: (a) pertenecer a las categorías U13-U16, (b) contar con al menos dos años de experiencia en el entrenamiento de fútbol federado y (c) no presentar ninguna lesión musculoesquelética en los tres meses previos al inicio del estudio. Los criterios de exclusión fueron la presencia de lesiones activas o patologías que pudiesen comprometer la ejecución técnica de los ejercicios evaluados. Tanto los jugadores como sus padres o tutores legales fueron informados del propósito y los procedimientos del estudio, firmando un consentimiento informado antes de la participación. El protocolo fue aprobado por el comité ético de la institución correspondiente (Referencia DPS.EC.01.17).

Procedimientos

Familiarización

Durante las dos semanas previas al inicio de la intervención, todos los participantes realizaron 5 sesiones de familiarización con la técnica de ejecución de la sentadilla. Con el objetivo de garantizar la homogeneidad técnica entre todos los participantes, se estableció como criterio común que la sentadilla debía ejecutarse hasta alcanzar una profundidad paralela, (haciendo uso de un cajón para estandarizar esa profundidad), definida como el momento en que la parte superior del muslo queda paralela al suelo. Este criterio fue supervisado en todas las sesiones tanto durante la familiarización como a lo largo de la evaluación. Debido a la inexperiencia de los jugadores con el ejercicio, durante las primeras sesiones se puso énfasis en el control en la técnica de sentadilla. Durante las sesiones posteriores se hizo una progresión de la carga y velocidad de ejecución. Finalmente, en la última sesión de familiarización se hizo una ligera estimación del RM para ajustar los incrementos de carga durante la evaluación.

Evaluación del estado madurativo

Las medidas antropométricas se recogieron en la primera sesión de evaluación e incluyeron el peso corporal, la talla de pie y la talla sentado, medidas mediante una báscula convencional ($\pm 0,1$ kg) y un estadímetro fijo (SECA, Alemania, $\pm 0,1$ cm), respectivamente. El estado madurativo de cada jugador se estimó a través del indicador maturity offset, o años desde/hasta el Pico de Velocidad de Crecimiento (PHV), siguiendo la ecuación de predicción propuesta por Mirwald et al. (2002):

$$\text{Maturity Offset} = -9,236 + [0,0002708 \times (\text{longitud de pierna} \times \text{talla sentado})] - [0,001663 \times (\text{edad} \times \text{longitud de pierna})] + [0,007216 \times (\text{edad} \times \text{talla sentado})] + [0,02292 \times (\text{peso/talla} \times 100)]$$

Para los análisis, los jugadores fueron clasificados en dos grupos en función de su estado madurativo: pre-PHV ($\leq 0,0$ años desde el PHV) y post-PHV ($> 0,0$ años desde el PHV) (Malina y Koziele, 2014).

Protocolo de evaluación

Se llevó a cabo un calentamiento estandarizado compuesto de 5 minutos de carrera continua, movilidad dinámica y ejercicios de activación. Posteriormente, los jugadores realizaron dos series de diez repeticiones de sentadilla paralela con carga ligera, simulando el patrón técnico requerido durante la evaluación.

Una vez realizado el calentamiento, se inició el protocolo de evaluación incremental. Los jugadores realizaron series de sentadilla con incrementos progresivos. Los incrementos en la carga fueron ajustados en función del RM estimado en las sesiones de familiarización. Estos incrementos fueron de 10 o 5 kg hasta que la velocidad media propulsiva fuera inferior a 0,6 m/s, en ese caso se redujeron a 5 y 2.5 kg hasta una velocidad cercana al 90% de RM. El descanso entre series fue de 4 a 5 minutos para evitar la influencia de la fatiga acumulada. El número de repeticiones por serie fue descendiendo de un máximo de 4 a 1 repetición. Se registro la velocidad más alta con cada carga.

Se utilizó un encoder lineal (Vitruve, España) que registró la velocidad media propulsiva (VMP, en m/s) de la barra en cada repetición. La VMP corresponde a la fase de la repetición en la que la aceleración ejercida por el deportista es positiva, excluyendo la fase final donde la inercia sustituye al esfuerzo muscular activo (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Para cada carga, se seleccionó la repetición con mayor VMP como valor representativo de esa intensidad. Con los pares de datos carga-VMP obtenidos en cada serie, se construyó una recta de regresión lineal individual para cada jugador. La extrapolación de dicha recta hasta el valor de velocidad mínima de carga máxima (Minimal Velocity Threshold, MVT) establecido para la sentadilla paralela con barra libre permitió estimar el 1RM de cada participante sin necesidad de ejecutar repeticiones al fallo muscular (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Páramo et al., 2021).

Referencias

- Brzycki, M. (1993). Strength testing: Predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 64(1), 88–90. <https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>
- Epley, B. (1985). Poundage chart. En B. Epley (Ed.), *Boyd Epley Workout* (p. 86). Body Enterprises.
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J. R., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., y Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: Updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(Suppl. 5), S60–S79. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31819df407>
- Fernández-Galván, M., Peña-González, I., y García, J. (2022). Efectos de la maduración biológica en el rendimiento de futbolistas jóvenes. *Revista de Ciencias del Deporte*, 40(2), 123–134.
- García-Ramos, A., Haff, G. G., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Balsalobre-Fernández, C., y Jaric, S. (2018). Feasibility of the 2-point method for determining the 1-repetition maximum in the bench press exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 474–481. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0374>
- González-Badillo, J. J., y Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Jovanović, M., y Flanagan, E. P. (2014). Researched applications of velocity based strength training. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 22(2), 58–69.
- Lander, J. (1985). Maximums based on reps. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 6(6), 60–61.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., De Ste Croix, M. B. A., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar, B. A., Micheli, L. J., Thomas, D. P., Hatfield, D. L., Cronin, J. B., y Myer, G. D. (2014). Long-term athletic development—Part 1: A pathway for all youth. *Journal of*

Strength and Conditioning Research, 28(5), 1439–1450.

<https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825760ea>

Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Radnor, J. M., Rhodes, B. C., Faigenbaum, A. D., y Myer, G. D. (2016).

Youth physical development model: A new approach to long-term athletic development.

Strength and Conditioning Journal, 38(6), 36–44.

<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000236>

Malina, R. M., y Kozieł, S. M. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish

boys. Journal of Sports Sciences, 32(5), 424–437.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2013.828850>

Mayhew, J. L., Ball, T. E., Arnold, M. D., y 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.

Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., y Beunen, G. P. (2002). An assessment of

maturity from anthropometric measurements. Medicine & Science in Sports & Exercise, 34(4),

689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>

Müller, L., Hildebrandt, C., Müller, E., Fink, C., y Raschner, C. (2015). Biological maturity status,

physical fitness, and injury susceptibility in elite youth football players: A prospective study.

Journal of Sports Sciences, 33(20), 2101–2109.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1012106>

Pallares, J. G., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., De La Cruz-Sánchez, E., y Mora-Rodríguez, 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.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2014.889844>

Peña-González, I., Fernández-Galván, M., y García, J. (2019). Efectos de la maduración biológica en el

rendimiento de futbolistas jóvenes. Revista de Ciencias del Deporte, 39(3), 201–214.

- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., y 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003118>
- Radnor, J. M., Oliver, J. L., Waugh, C. M., Myer, G. D., Moore, I. S., y Lloyd, R. S. (2018). The influence of growth and maturation on stretch-shortening cycle function in youth. *Sports Medicine*, 48(1), 57–71. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0785-0>
- Reynolds, J. M., Gordon, T. J., y 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. <https://doi.org/10.1519/R-15304.1>
- Sánchez-Medina, L., y 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., Pérez, C. E., y Palláres, 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. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1351252>
- Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., y Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength and Conditioning Journal*, 43(2), 31–49. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000560>