

TRABAJO FINAL DE GRADO



Relación entre el Dynamic Strength Index y la fuerza máxima relativa en función del estado madurativo en jóvenes futbolistas.

Alumno: Marco Antón Sansano

Tutor académico: Iván Peña González

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Curso académico: 2025 - 2026

Introducción

El fútbol se caracteriza por ser un deporte donde la ejecución de acciones intermitentes de alta intensidad, como sprints, saltos y cambios de dirección, resultan determinantes para el rendimiento del jugador (Thapa et al., 2020). En este sentido, diferentes estudios en el fútbol juvenil han señalado que el éxito en las acciones nombradas anteriormente dependen en gran medida de la capacidad del tren inferior de producir potencia (Mehréz et al., 2018; Comfort et al., 2014; Falces-Prieto et al., 2022). La producción de fuerza en el tren inferior se considera un factor clave en el desarrollo de acciones explosivas, constituyendo un indicador relevante del rendimiento en tareas específicas del fútbol (Kadlubowski et al., 2021).

Evaluar los niveles de fuerza del tren inferior de los jóvenes jugadores de fútbol es importante para reducir el riesgo lesional durante etapas de desarrollo madurativo (França et al., 2024). Dos pruebas de rendimiento comúnmente utilizadas en el fútbol de edades tempranas para valorar de forma específica este aspecto en futbolistas son el salto con contramovimiento (CMJ), el cual permite evaluar la capacidad de utilizar el ciclo de estiramiento-acortamiento y la tasa de desarrollo de la fuerza, aspectos clave en acciones explosivas (McMahon et al., 2018) y la tracción isométrica a la altura del muslo (IMTP), este proporciona información sobre la capacidad de producción de fuerza máxima isométrica y variables relacionadas con la RFD en posiciones específicas del gesto deportivo (Comfort et al., 2018). Habitualmente, los profesionales utilizan los datos de estas pruebas para categorizar a los deportistas por el rendimiento de estos o catalogar la probabilidad de lesión según los resultados obtenidos. Al relacionar la fuerza pico (FP) durante el CMJ y el IMTP, los profesionales pueden calcular una variable denominada Dynamic Strength Index (DSI), que se ha utilizado para evaluar el perfil neuromuscular del deportista y orientar la prescripción del entrenamiento de fuerza en función de los resultados en este índice (Sheppard et al., 2011). Asimismo, se ha observado que el DSI no siempre muestra una relación directa con el rendimiento en tareas como el sprint o el salto, lo que refuerza su utilidad como herramienta de perfilado neuromuscular más que como predictor directo del rendimiento (Thomas et al., 2015).

A pesar del creciente uso del DSI como herramienta para evaluar el perfil de fuerza en deportistas, a día de hoy, no existe demasiada literatura sobre este índice en jóvenes futbolistas en una etapa madurativa de VPH (Peak Height Velocity). El estudio de Portella et al. en 2024 analiza el comportamiento del DSI en jóvenes futbolistas, mostrando que no sigue una evolución lineal con la edad debido a que la fuerza máxima y la capacidad explosiva no se desarrollan al mismo ritmo. Sin embargo, este trabajo no considera de forma específica el estado madurativo de los deportistas.

En este contexto, resulta fundamental abordar el concepto de maduración de los jóvenes deportistas, el cual se refiere al progreso hacia el estado adulto o maduro y puede definirse en términos de estado, momento y ritmo (Malina et al., 2015). Mientras que el estado se refiere al estado de maduración en el momento de la observación (p. ej., prepuberal, puberal, postpuberal), el momento se refiere a la edad en la que ocurren eventos madurativos específicos, como la edad de la menarquia y la edad de máxima velocidad de crecimiento (PHV). El ritmo se refiere a la velocidad a la que progresa la maduración. Los niños de la misma edad pueden variar en el ritmo, y algunos individuos alcanzan la adultez antes que otros. La estimación de los años desde o hasta el VPH constituye uno de los métodos más utilizados en el ámbito deportivo para determinar el estado madurativo, debido a su naturaleza no invasiva y su utilidad práctica en contextos aplicados (Malina et al., 2015). El VPH se define como el punto de referencia teórico que representa la tasa máxima de crecimiento en estatura durante el estirón puberal en la adolescencia (Mirwald et al., 2002). Según la metodología propuesta

por Mirwald et al. (2002), este hito somático permite estimar el estado madurativo de un individuo mediante el cálculo del maturity offset, un valor que predice el tiempo que resta o que ha transcurrido desde la ocurrencia de dicha velocidad máxima.

Durante el periodo del VPH se producen variaciones asociadas a la maduración en el crecimiento y las capacidades funcionales de los jóvenes deportistas, así como cambios en el tamaño corporal, la función y el rendimiento asociados a la maduración biológica (Malina et al., 2015).

Desde la perspectiva del entrenamiento, el PHV marca un punto de inflexión donde las adaptaciones pasan de ser predominantemente neuronales (basadas en la plasticidad del sistema nervioso) a ser también estructurales, permitiendo ganancias de fuerza por hipertrofia (Lloyd & Oliver, 2012).

Además, durante este periodo se observa una alta variabilidad interindividual en el desarrollo físico y neuromuscular, lo que implica que deportistas de la misma edad cronológica pueden presentar niveles de rendimiento muy diferentes (Mirwald et al., 2002). Esta situación pone de manifiesto la importancia de utilizar indicadores de maduración biológica, como el PHV, en lugar de basarse únicamente en la edad cronológica, para la planificación y organización del entrenamiento, así como para los procesos de identificación y selección de talentos dentro de los programas de desarrollo de las academias. Por tanto, la integración del estado madurativo en la evaluación del rendimiento y de índices compuestos (DSI) podría ser relevante para evitar sesgos en la interpretación del perfil de fuerza del futbolista.

A pesar de la relevancia del PHV en el desarrollo del rendimiento físico, su influencia sobre índices compuestos como el DSI y su posible relación con la fuerza máxima dinámica no ha sido suficientemente explorada en la literatura científica. Así pues, el objetivo de este estudio fue analizar la asociación entre el DSI y la fuerza máxima dinámica relativa (RM) y determinar si dicha relación está modulada por el estado madurativo en jóvenes futbolistas.

Metodología

Participantes

En este estudio participaron 108 jugadores de fútbol donde el 100% eran varones. Todos pertenecían a la misma academia de fútbol. Estos participaron en cuatro pruebas de evaluación física y corporal; pruebas antropométricas, CMJ, RM y IMTP. Los participantes no tenían experiencia previa en estas pruebas.

Tanto los jugadores como sus padres fueron informados del propósito y 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 de evaluación

Antropometría:

Las mediciones antropométricas de los futbolistas fueron tomadas el primer día de las sesiones de evaluación. El peso corporal se evaluó utilizando un monitor de composición corporal digital (Tanita BC-601 Ltd., Japón, ± 0.1 kg) y la talla de pie y sentado se midieron con un estadiómetro fijo (SECA Ltd., Alemania, ± 0.1 cm).

Estado madurativo:

El estado madurativo de los jugadores se fue estimado mediante los años desde/hasta el pico de velocidad de crecimiento (PHV), siguiendo la fórmula propuesta por Mirwald et al. (2002):

$$\text{Maturity Offset} = 29.769 + 0.0003007 \times (\text{Longitud de pierna} \times \text{Altura sentado}) - 0.01177 \times (\text{Edad} \times \text{Longitud de pierna}) + 0.01639 \times (\text{Edad} \times \text{Altura sentado}) + 0.445 \times (\text{Relación Longitud de pierna/Altura corporal})$$

Rendimiento físico:

Todos los jugadores antes de las evaluaciones participaron en dos sesiones de familiarización (FS1 y FS2) donde se les enseñó la técnica de la sentadilla y afianzar este patrón de movimiento de cara a las evaluaciones de RM. En todas las sesiones de evaluación que se llevaron a cabo (TS1, TS2, TS3) los jugadores hicieron un calentamiento estandarizado compuesto por carrera a baja intensidad, movilidad de tren inferior y replicar la prueba de evaluación a baja intensidad antes de ser sometidos a ella (sentadilla solo con la barra).

La estimación de la fuerza máxima dinámica (RM) se realizó mediante el método de múltiples puntos a partir del perfil carga-velocidad, técnica ampliamente utilizada para estimar el rendimiento máximo sin necesidad de alcanzar cargas máximas (Juan José González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Para ello, se registraron entre 4 y 6 puntos correspondientes a diferentes cargas submáximas, seleccionadas de forma progresiva en función del nivel técnico del deportista.

La velocidad de ejecución fue medida mediante un encoder lineal, permitiendo establecer la relación individual entre carga y velocidad. El procedimiento se detuvo cuando el deportista alcanzaba velocidades cercanas a $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en casos de menor dominio técnico, o bien se continuaba hasta velocidades iguales o inferiores a $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en aquellos sujetos con una ejecución técnica adecuada, con el fin de mejorar la precisión en la estimación del RM. Los jugadores tenían en todo momento feedback visual de la velocidad que ejecutaban en cada repetición ya que se ha demostrado que el suministro de feedback cinemático inmediato mejora significativamente la motivación y la competitividad, además de atenuar la pérdida de velocidad concéntrica media durante el entrenamiento (Weakly et al., 2019).

El ejercicio utilizado para la evaluación fue la sentadilla trasera hasta la paralela, controlando la profundidad mediante cajones individualizados para cada deportista, de modo que el contacto con el cajón coincidiera con la posición de muslos paralelos al suelo. Esta estandarización permitió asegurar la consistencia en la ejecución del movimiento entre los participantes. Las instrucciones para la prueba fueron: (1) bajar de manera controlada hasta notar contacto con el cajón en el glúteo, y (2) extender las rodillas (subir) lo más rápido y fuerte que puedas sin saltar.

El CMJ fue evaluado mediante una plataforma de fuerzas, considerada una herramienta válida y fiable para la medición de variables mecánicas asociadas al rendimiento del tren inferior (Linthorne, 2001). Previamente a la evaluación, los participantes realizaron un breve calentamiento junto con una fase de familiarización con el gesto, con el objetivo de asegurar una correcta ejecución técnica.

Durante la prueba, los sujetos realizaron dos intentos de CMJ sobre la plataforma de fuerzas, siendo instruidos para saltar lo más alto y rápido posible, partiendo desde una posición erguida y ejecutando un contramovimiento libre. Se registraron las variables correspondientes a cada intento, seleccionando para el análisis el mejor de los dos saltos.

Por último, la fuerza isométrica máxima del tren inferior fue evaluada mediante la prueba de IMTP, utilizando una célula de carga (galga extensiométrica) para el registro de la fuerza producida. Previamente a la evaluación, los participantes realizaron una fase de

familiarización mediante un simulacro de la prueba, con el objetivo de asegurar una correcta adopción de la posición y ejecución del esfuerzo máximo.

Durante la prueba, los sujetos adoptaron una posición estandarizada similar a la fase de tirón del levantamiento olímpico, con el tronco erguido y una flexión de rodilla comprendida entre 125° y 135°, rango que se ha asociado con una posición óptima para la producción de fuerza en este tipo de prueba. A diferencia del protocolo tradicional propuesto por Comfort et al. (2018) , la aplicación de la fuerza se realizó mediante un arnés sujeto al tronco a la altura de los muslos, con el objetivo de minimizar la influencia de la fuerza de agarre como factor limitante en la producción de fuerza máxima (De Witt et al.,2018).

En este sentido, se ha descrito que la fuerza de agarre puede influir en los valores obtenidos en el IMTP, incluso cuando se emplean correas, pudiendo limitar la expresión real de la fuerza del tren inferior (D. Rhodes et al., 2022). Por ello, el uso de sistemas alternativos de sujeción, como arneses, permite aislar en mayor medida la capacidad de producción de fuerza del tren inferior. Las instrucciones para la prueba fueron: (1) coloca las rodillas semiflexionadas (2) y trata de que haya una pretensión para evitar tirones bruscos, (3) tira todo lo que puedas hacia arriba haciendo la fuerza con tus piernas.

Todos los jugadores recibieron estímulo verbal en esta prueba e hicieron un intento que tuvo lugar después de un descanso completo posterior al simulacro de la prueba realizado anteriormente.

Análisis estadísticos

Los datos se expresaron como media $\pm$ desviación estándar. Se realizó un análisis descriptivo de todas las variables objeto de estudio. Para analizar las diferencias en los valores del Dynamic Strength Index (DSI) en función del estado madurativo, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, tomando como variable independiente el grupo madurativo (pre-PHV, mid-PHV y post-PHV). Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizaron comparaciones post-hoc mediante el ajuste de Bonferroni.

Asimismo, se analizó la relación entre el Dynamic Strength Index (DSI) y la fuerza máxima relativa (RM) mediante un análisis de correlación, con el objetivo de determinar el grado de asociación entre ambas variables. Adicionalmente, este análisis se realizó de forma independiente para cada grupo madurativo con el fin de explorar posibles diferencias en dicha asociación según el estado madurativo de los jugadores.

El nivel de significación estadística se estableció en $p < 0.05$.

Referencias

- Comfort, P., Dos'Santos, T., Beckham, G., Stone, M., Guppy, S., & Haff, G. (2018). Standardization and Methodological Considerations for the Isometric Midthigh Pull. *Strength and Conditioning Journal*, 41, 1. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000433>
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 173–177. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b8c7>
- Comfort, P., Thomas, C., Dos'Santos, T., Jones, P. A., Suchomel, T. J., & McMahon, J. J. (2018). Comparison of methods of calculating dynamic strength index. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 320–325. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0255>
- De Witt, J. K., English, K. L., Crowell, J. B., Kalogera, K. L., Guilliams, M. E., Nieschwitz, B. E., Hanson, A. M., & Ploutz-Snyder, L. L. (2018). Isometric Midthigh Pull Reliability and Relationship to Deadlift One Repetition Maximum. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(2), 528. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001605>
- Falces-Prieto, M., González-Fernández, F. T., García-Delgado, G., Silva, R., Nobari, H., & Clemente, F. M. (2022). Relationship between sprint, jump, dynamic balance with the change of direction on young soccer players' performance. *Scientific Reports*, 12, 12272. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16558-9>
- França, C., Martins, F., Lopes, H., Marques, A., de Maio Nascimento, M., Przednowek, K., Ihle, A., Campos, P., & Gouveia, É. R. (2024). Knee muscle strength, body composition, and balance performance of youth soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 206. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00966-7>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(05), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Hammami, M., Negra, Y., Billaut, F., Hermassi, S., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2018). Effects of lower-limb strength training on agility, repeated sprinting with changes of direction, leg peak power, and neuromuscular adaptations of soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(1), 37–47. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001813>
- Kadlubowski, B., Keiner, M., Stefer, T., Kapsecker, A., Hartmann, H., & Wirth, K. (2021). Influence of linear-sprint performance, concentric power and maximum strength on change of direction performance in elite youth soccer players. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 51(1), 116–121. <https://doi.org/10.1007/s12662-020-00692-5>
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61–72. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825760ea>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho-e-Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852–859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>

- McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J., & Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength & Conditioning Journal*, 40(4), 96–106. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000375>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., & 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>
- Portella, D. L., Jatene, P., Da Silva, A. O., dos Santos, G. S., Monteiro, D., Teixeira, J. E., Branquinho, L., Ferraz, R., & Forte, P. (2024). Comparison of force variables and dynamic strength index between age groups in elite young Brazilian football goalkeepers. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1282214>
- Rhodes, D., Jeffery, J., Carling, C., & Alexander, J. (2022). The association between grip strength and isometric mid-thigh pull performance in elite footballers. *Science & Sports*, 37(2), 147.e1-147.e7. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2021.03.007>
- Sheppard, J. M., Chapman, D., & Taylor, K.-L. (2011). An evaluation of a strength qualities assessment method for the lower body. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 19(2), 4–10.
- Thapa, R. K., Lum, D., Moran, J., & Ramirez-Campillo, R. (2021). Effects of complex training on sprint, jump, and change of direction ability of soccer players: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 11, 627869. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.627869>
- Thomas, C., Jones, P. A., & Comfort, P. (2015). Reliability of the dynamic strength index in college athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(5), 542–545. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0255>
- Weakley, J. J. S., Wilson, K. M., Till, K., Read, D. B., Darrall-Jones, J., Roe, G. A. B., Phibbs, P. J., & Jones, B. (2019). Visual Feedback Attenuates Mean Concentric Barbell Velocity Loss and Improves Motivation, Competitiveness, and Perceived Workload in Male Adolescent Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(9), 2420. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002133>

