

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN RENDIMIENTO
DEPORTIVO Y SALUD**

Universidad Miguel Hernández de Elche

**Efecto de la fatiga generada en un partido de fútbol sobre los perfiles de
fuerza-velocidad y rigidez muscular en jugadores adolescentes de fútbol**

Julián Jaime Navarrete Martínez

Director:

Dr. Int. Francisco Ayala Rodríguez

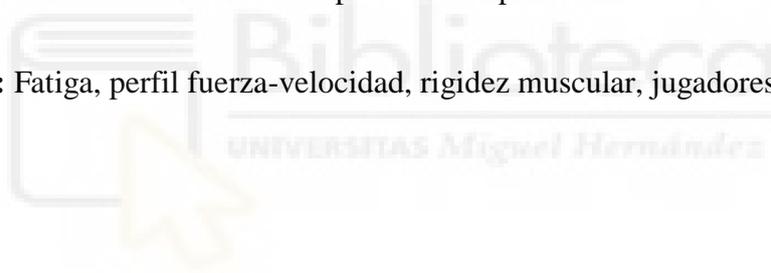
Elche, 2017

Efecto de la fatiga generada en un partido de fútbol sobre los perfiles de fuerza-velocidad y rigidez muscular en jugadores adolescentes de fútbol

Resumen:

El objetivo principal de este proyecto de investigación será analizar el efecto de la fatiga generada por un partido de fútbol sobre los perfiles de fuerza-velocidad y rigidez muscular en jugadores adolescentes. Un total de 50 jugadores de fútbol de edades comprendidas entre 13-16 años, de diferentes equipos del campeonato amateur de la federación de la Comunidad Valenciana de fútbol formarán parte del presente estudio. De este modo, todos los participantes serán evaluados antes y después de un partido real de competición en las medidas de perfil fuerza-velocidad (componentes horizontal y vertical) y rigidez muscular. Tras el partido de intervención, los datos serán analizados empleando una prueba ANOVA de medidas repetidas.

Palabras claves: Fatiga, perfil fuerza-velocidad, rigidez muscular, jugadores jóvenes.

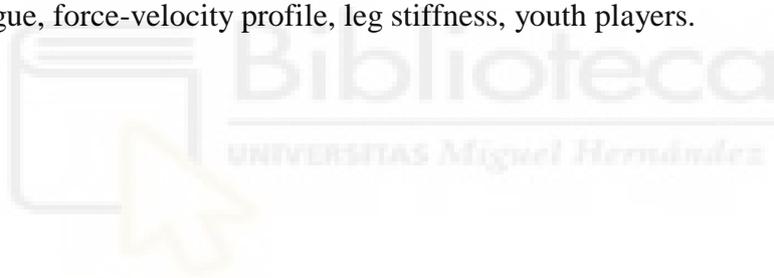


Effect of fatigue generated by a soccer match on force-velocity profiles and leg stiffness controlled in youth soccer players

Abstract:

The main objective of this research project will be to analyze the effect of fatigue generated by a football game on the force-velocity profile and leg stiffness of youth players. A total of 50 soccer players aged 13-16 years from different teams of the amateur championship of the Valencia Football Federation will be part of the present study. In this way, all the participants will be evaluated before and after a real competition match on force-velocity profile measurements (horizontal and vertical components) and leg stiffness. After the intervention match, the data will be analyzed using an ANOVA test of repeated measures.

Keywords: Fatigue, force-velocity profile, leg stiffness, youth players.



1. INTRODUCCIÓN

El sedentarismo, provocado por la falta de práctica regular de actividad física, se ha convertido en uno de los problemas principales de salud pública a nivel mundial, tanto en poblaciones adultas como jóvenes (Escalante, 2011). Por ello, actualmente, la prescripción de actividad física se ha convertido en el objetivo principal de los profesionales de la salud. En este sentido, asociaciones internacionales tan prestigiosas como la “American College of Sport Medicine” (ACSM) y la “National Strength and Conditioning Association” (NSCA) recomiendan, en jóvenes de entre 5 y 17 años, realizar al menos 60 minutos de actividad física al día, con una intensidad de moderada a vigorosa. Además, ambas instituciones sugieren que se debe incluir al menos 3 días a la semana de actividad vigorosa en la que se lleven a cabo actividades de fortalecimiento muscular y mejora de la masa ósea. Para conseguir dichos requerimientos de práctica de actividad física, una estrategia que utiliza gran parte de la población es participar en deportes colectivos. De este modo, hoy en día, el fútbol es el deporte más popular del mundo (Woods et al., 2002). Cuenta con más de 200 países asociados y con aproximadamente 200 millones de jugadores y 40 millones de jugadoras inscritas en las mismas (Kucera, Marshall, Kirkendall, et al. 2005).

El perfil de actividad durante un partido de fútbol es multidireccional e intermitente tanto en intensidad como en duración (Greig & Walker-Johnson, 2007). Así, el fútbol se caracteriza por la realización de acciones de sprint, cambios de dirección y sentido a la máxima velocidad, saltos, además de por técnicas de driblar, disparar y pasar (Faude, Rossler & Junge, 2013; Krstrup, Aagaard, Nybo, Petersen, Mohr & Bangsbo, 2010). Sin embargo, todas estas acciones ejecutadas a alta intensidad y de forma intermitente llevan inherente un incremento significativo del riesgo de sufrir una lesión (Verhagen & van Mechelen, 2010). Este riesgo es especialmente elevado durante la adolescencia, atribuido principalmente al incremento del número de fuerzas tensionales a soportar por un sistema músculo esquelético inmaduro derivado del aumento de la carga de entrenamiento y competición, así como a los desajustes en el control motor propios del periodo puberal en el que se encuentran los deportistas a esa edad (Hewett et al., 2002). Así, las lesiones pueden contrarrestar los efectos beneficiosos sobre la salud de la práctica deportiva si una persona es incapaz de continuar adherida a la misma como resultado de las secuelas producidas por una lesión. En este sentido, un reciente estudio epidemiológico llevado a cabo en niños (de 7 a 14 años) informó de una incidencia de lesiones de 0.61 por cada 1000 horas de exposición, además de un incremento en las tasas de incidencia asociado con la edad (Rossler et al., 2015). Dichas lesiones ocurren principalmente en las

extremidades inferiores (71-80%), con una baja proporción (5%) de lesiones por sobreuso y una alta proporción (20%) de esguinces traumáticos agudos en las articulaciones del tobillo y rodilla (Le Gall et al., 2006; Price, Hawkins, Hulse, & Hodson, 2004; Rumpf & Cronin, 2012).

Por lo tanto, es importante la implantación temprana de medidas de prevención de lesiones en las sesiones de entrenamiento y competición para contrarrestar el potencial riesgo de lesión asociado a la práctica del fútbol. Sin embargo, y antes de aplicar dichas medidas, es importante conocer los factores de riesgo inherentes a este fenómeno. Una gran variedad de factores de riesgo de lesión han sido propuestos en la literatura científica, entre los que destaca la inapropiada capacidad de absorción y transmisión de energía tensional y mecánica en movimiento (horizontal y vertical) de la musculatura de la extremidad inferior (Small et al., 2010; Mendiguchia et al., 2014).

En este sentido, se ha sugerido que los músculos bi-articulares de la parte posterior del muslo tienen una influencia notable en el control de la dirección de las fuerzas externas, facilitando una producción de fuerzas horizontales y en dirección posterior, permitiendo que el cuerpo se traslade hacia delante durante la fase de apoyo de la carrera a pie (Belli, Kyröläinen & Komi, 2002; Jacobs & van Ingen Schenau, 1992). En particular, la musculatura isquiosural (bi-articular) ha demostrado contribuir de forma decidida a la transmisión de potencia desde la parte distal hacia la proximal de las articulaciones durante acciones explosivas de extensión de la pierna. Esta transmisión de potencia permite una eficiente y segura conversión de los movimientos de rotación de los segmentos (durante la primera parte de la fase de apoyo de la carrera) en una traslación del centro de masa en dirección horizontal (Jacobs, Bobbert, & van Ingen Schenau, 1996). Esta habilidad de producir de forma específica y aplicar altas cantidades de fuerza durante movimientos horizontales (carreras) y verticales (saltos) ha sido descrita a través de relaciones o perfiles de fuerza-velocidad (Morin, Edouard & Samozino, 2011).

Así, un sub-óptimo perfil de fuerza-velocidad tanto en dirección horizontal como en vertical podría manifestar una debilidad en la funcionalidad de la musculatura extensora de cadera y flexora de rodilla (mostrando una menor producción de fuerza horizontal y vertical), lo cual podría incrementar el riesgo de sufrir un desgarro en la misma al reducir su capacidad de manejar de forma segura la gran cantidad de energía tensional que se genera durante acciones de sprint y salto. Esta hipótesis ha sido parcialmente apoyada por investigadores que han cuantificado el mecanismo de la carrera a la máxima velocidad en deportistas que han atravesado por un proceso de readaptación físico-deportiva tras una lesión de la musculatura isquiosural, los cuales presentaron características mecánicas de sus patrones de carrera

diferentes (alteración de la producción de fuerza [menores valores en la fase de apoyo) a los de sus homólogos no lesionados (Brughelli et al., 2010; Mendiguchia et al., 2014).

Otro de los factores más importantes es la rigidez muscular, el cual se ha de tener en cuenta. Se basa en el ciclo de acortamiento-estiramiento (CAE), fundamental en acciones muy utilizadas en la práctica deportiva (Oliver et al., 2014). También, se encuentra relacionado con mecanismos de prevención de lesiones (Lloyd et al., 2009). De hecho, se entiende que es un mecanismo de protección importante, asociando lesiones de tejidos blandos a niveles bajos de la rigidez muscular (Oliver et al., 2014). Es importante buscar un nivel de rigidez óptimo, ya que no sólo niveles bajos están asociados a lesiones, sino que hay evidencias de lesiones óseas relacionadas con niveles elevados de rigidez muscular (Butler, Crowell & Davis, 2003). La mayoría de las lesiones de los jóvenes, en fútbol, son sin contacto y en el tren inferior, por lo que mejorar la comprensión de mecanismos que contribuyen a la fatiga del CAE, es fundamental para reducir el riesgo de lesión y recaída (Oliver et al., 2014). Gracias a diversos estudios, como el de Oliver et al. (2014) se sabe que, tras la actividad futbolística, se crean alteraciones neuromusculares que afectan al control de la rigidez muscular. Éstas son, la alteración de la estabilidad articular y un mayor estrés en los tejidos blandos, ambas implicadas en un mayor riesgo de lesión. Además, la rigidez de la pierna es sensible a la detección de fatiga acumulada (Oliver et al., 2015). Por ello, evaluarla puede ayudar a determinar el riesgo de lesión en extremidades inferiores (Watsford et al., 2010).

Ahora bien, conocer cómo afecta la fatiga generada por un partido sobre estos dos últimos factores se antoja fundamental para determinar si la duración del mismo es suficiente como para generar alteraciones importantes en éstos, situando a los deportistas en una situación de alto riesgo de lesión. Se ha demostrado que la mayoría de las lesiones musculares ocurren durante los últimos 15 minutos de cada tiempo, por lo que la fatiga podría presentar un papel clave, relacionado sobre todo con una capacidad menor para recorrer distancias y una disminución de la fuerza (Small et al., 2010; Rahnema et al., 2003). El efecto de la fatiga ha sido analizado en otras variables como la fuerza excéntrica del tren inferior (Greig & Siegler, 2009; Small et al., 2010). Incluso, Rahnema et al. (2003) y Greig & Siegler (2009) trataron de simular las condiciones de partido, pero sus protocolos no reflejaban la realidad multidireccional del deporte (Small et al., 2010). Small et al. (2010) realizaron un estudio con isocinético por medio del protocolo SAFT. Pero, aun así, dicho protocolo no representa completamente las demandas del juego real. Además, estos protocolos no se llevaron a cabo con jugadores adolescentes. A raíz de estos estudios sabemos que la fatiga es un factor clave,

pero ninguno relacionado directamente con el perfil de fuerza-potencia y velocidad y la rigidez muscular en un partido de fútbol. Lo que sí se sabe es que, la fatiga afecta a las propiedades mecánicas del sprint, relacionando un deterioro de sus capacidades en los periodos de mayor fatiga del partido (Nagahara, Morin & Koido, 2016). Así, Nagahara et al. (2016) trataron de evaluar el deterioro de las capacidades mecánicas del sprint durante un partido de fútbol y su relación con los perfiles de actividad durante un partido. De esta reciente investigación se extrajo que, la fatiga que se genera durante la competición menoscaba las capacidades de velocidad máxima de los jugadores, más que la capacidad de producción de fuerza horizontal durante la aceleración inicial.

Por lo tanto, el objetivo principal de este Trabajo Final de Máster será analizar el efecto de la fatiga generada por un partido de fútbol sobre el perfil de fuerza-potencia y velocidad y rigidez muscular en adolescentes jugadores de fútbol.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Participantes

La muestra objeto de estudio de esta investigación estará compuesta por 50 jugadores de fútbol en edad adolescente (13-16 años). Todos los participantes pertenecerán a la categoría infantil y cadete de la Federación de Fútbol de la Comunidad Valenciana y deberán mantener una actividad de, al menos, 2 sesiones de trabajo semanal y un partido durante el fin de semana. Los criterios de exclusión que se llevarán a cabo son los siguientes:

- No asistencia a una de las sesiones de evaluación.
- Tener alguna patología músculo-esquelética que pueda verse agravada por la realización de alguno de los test de rendimiento físico seleccionados.
- Baja del equipo durante el periodo de realización de las pruebas.
- Participar menos de 30 minutos en el partido objeto de estudio.

Además, los participantes serán informados verbalmente y por escrito de los posibles riesgos que conllevaba la participación en el estudio y firmarán un consentimiento informado (Declaración de Helsinki de 1975 y 2000). El Comité de Ética de la Universidad concederá la aprobación de realización del estudio.

2.2. Diseño

Esta investigación utilizará un diseño pre-test y post-test, en el cual se analizará el efecto que tiene la actividad de un partido de fútbol sobre los perfiles de fuerza-velocidad y rigidez muscular en jugadores adolescentes. Se utilizará como variable independiente el número de partidos necesarios para realizar las evaluaciones de las variables dependientes escogidas. Estas últimas serán V_0 , FH_0 , P_{max} y $F-v$ pertenecientes al perfil de fuerza-potencia y velocidad; y la rigidez muscular, la cual se obtendrá a partir de los parámetros tiempo de contacto y vuelo durante acciones de saltos repetidos con piernas rígidas.

La realización de los test se llevará a cabo en diferentes superficies. Para el salto del perfil de fuerza-velocidad y los saltos repetidos de la rigidez muscular, se utilizará una superficie plana, mientras que la prueba de velocidad de 30 metros se llevará a cabo en el terreno de juego. Por ello, los participantes llevarán calzado específico para cada prueba, las dos primeras se realizarán con calzado deportivo mientras que la última se hará con botas de fútbol. Las pruebas se llevarán a cabo dos veces, tanto en el pre-test como en el post-test. Además, con el fin de que los jugadores conozcan la técnica de ejecución de las pruebas, se realizará una sesión de familiarización durante los entrenamientos de la semana previa a cada evaluación.

Previamente a la realización de las pruebas pre-partido, se realizará un calentamiento para optimizar la ejecución de las mismas. Dicho calentamiento estará formado por carrera continua (5 minutos al 60% FC_{max}), ejercicios propioceptivos del tren inferior y estiramientos dinámicos la musculatura inferior a razón de 1 ejercicio y serie de 30 movimientos por cada grupo muscular.

2.3. Medidas de rendimiento

2.3.1. Perfil de fuerza-potencia y velocidad

2.3.1.1. Componente vertical

El perfil de fuerza-velocidad consta de dos componentes, el vertical y el horizontal. Para calcular el primero de ellos, se llevará a cabo un protocolo de salto. Para el cálculo serán necesarios unos datos previos, que constan de masa del participante, longitud de la pierna extendida y altura del participante. Estos datos junto a la altura de salto, medida bajo parámetros de sobrecarga, conformarán el componente vertical (Morin & Samozino, 2016). El cálculo de la altura de salto se realizará por medio de una plataforma de contacto (Ergojump, Bosco-Systems, Rome, Italia) y según el estudio de Morin & Samozino (2016) se necesitará al menos 5 saltos (incluyendo 0 kg de carga adicional) en los que saltará el participante 10 cm, pero las condiciones de sobrecarga se han adaptado a la edad de los participantes. El protocolo

de salto será el de un salto máximo, sin contramovimiento y sobre una superficie rígida y estable (figura 1).



Figura 1: componente vertical del perfil de fuerza-potencia y velocidad

Cada salto tendrá 2 intentos, con recuperación de 1 minuto entre cada uno y 2 minutos entre cada carga, de los cuales se utilizará el mejor para el posterior análisis estadístico. Las variables que se utilizarán para su posterior análisis son las descritas en la tabla 1.

Tabla 1

Variables del componente vertical

Variable	Definición	Interpretación
VTC-F0 (N/kg)	Producción de fuerza máxima teórica de los miembros inferiores extrapolada de la relación fuerza-velocidad (F-V) de los saltos de cargada lineal; Y-intercepto de la relación F-V lineal	Rendimiento máximo de fuerza concéntrica (por unidad de masa corporal) que los miembros inferiores del atleta pueden producir teóricamente durante el empuje balístico. Determinado a partir de todo el espectro F-V, proporciona más información integradora sobre la capacidad de fuerza que, por ejemplo, la carga

		máxima de 1 repetición-carga concéntrica.
VTC-V0 (m/s)	Velocidad de extensión máxima teórica de los miembros inferiores extrapolada de la relación F-V de los saltos en carga lineal; X-intersección de la relación lineal F-V.	Velocidad de extensión máxima de los miembros inferiores del atleta durante el empuje balístico. Determinado a partir de todo el espectro F-V y muy difícil, si no imposible, de alcanzar y medir experimentalmente. También representa la capacidad de producir fuerza a velocidades de extensión muy altas.
VTC-Pmax (W/kg)	Potencia máxima mecánica, calculada como $P_{max} = F_0 \times V_0 / 4$ o como el vértice de la relación polinomial P-V de segundo grado.	Capacidad máxima de potencia de salida del sistema neuromuscular de las extremidades inferiores del atleta (por unidad de masa corporal) en el movimiento de extensión concéntrico y balístico.
F-V profile	Pendiente de la relación lineal F-V, calculada como $S_{fv} = -F_0 / V_0$.	Índice del equilibrio individual del atleta entre las capacidades de fuerza y velocidad. Cuanto más inclinada es la pendiente, más negativo es su valor, más "forzado" el perfil F-V y viceversa.

Nota. Recuperado de Morin y Samozino, 2016.

2.3.1.2. Componente horizontal

Para calcular el componente horizontal del perfil fuerza-velocidad se utilizará una prueba de sprint. Antes de realizar el test, se necesitará conocer la altura y masa del participante para el posterior análisis (Morin & Samozino, 2016). También, para calcular el componente

horizontal se necesitará saber el tiempo-distancia recorrido en la prueba, que para ello se utilizará la aplicación digital mysprint. El protocolo consistirá en un sprint de 30 metros máximo, sobre el terreno de juego y será grabado para su posterior análisis. La grabación se hará desde un punto fijo, perpendicular a donde se realiza la prueba y situado a 10 metros del centro. Como establece Morin & Samozino (2016), es necesario al menos 5 marcas de paso para realizar el análisis, por ello, se balizará la prueba con un cono y una pica desde el inicio y hasta el final, situando cada una cada 5 metros. Se llevarán a cabo dos intentos, de los cuales se escogerá la mejor marca para el posterior análisis. Los sujetos dispondrán de una recuperación de 1 minuto entre cada intento. Las variables que se utilizarán para su posterior análisis son las ubicadas en la tabla 2 (Figura 2).



Figura 2: Componente horizontal del perfil fuerza-potencia y velocidad.

Tabla 2

Variables del componente horizontal

Variable	Definición	Interpretación
HZT-F0 (N/kg)	Producción máxima de fuerzas horizontales teóricas extrapoladas de la relación lineal de F-V de sprint; Y-intercepto de la relación lineal F-V.	Salida de fuerza máxima (por unidad de masa del cuerpo) en la dirección horizontal. Corresponde al empuje inicial del atleta en el suelo durante la aceleración de

		sprint. Cuanto mayor sea el valor, mayor será la producción de fuerza horizontal específica de sprint.
HZT-V0 (m/s)	La velocidad de carrera máxima teórica extrapolada del sprint lineal F-V relación; X-intersección de la relación lineal F-V.	Capacidad de velocidad máxima de sprint del atleta. Un poco más alto que la velocidad máxima real. La velocidad de carrera máxima teórica que el atleta podría alcanzar si las resistencias mecánicas (es decir, interna y externa) contra el movimiento fueran nulas. También representa la capacidad de producir fuerza horizontal a velocidades de carrera muy altas.
HZT-Pmax (W/kg)	Salida de potencia mecánica máxima en la dirección horizontal, calculada como $P_{max} = F_0 \times V_0 / 4$, o como el vértice de la relación polinomial P-V de segundo grado.	Máxima potencia de salida del atleta en la dirección horizontal (por unidad de masa corporal) durante la aceleración de sprint.
F-V profile	Pendiente de la relación lineal F-V, calculada como $S_{fv} = -F_0 / V_0$.	Índice del equilibrio individual del atleta entre las capacidades de fuerza y velocidad. Cuanto más inclinada es la pendiente,

más negativo es su valor, más "forzado" el perfil F-V y viceversa.

Nota. Recuperado de Morin y Samozino (2016).

2.3.2. Rigidez muscular

Para calcular la rigidez muscular se estimará a partir de un protocolo de salto. Previo a la realización de la prueba los participantes serán instruidos, con el objetivo de que la ejecución no se vea interferida por el efecto de aprendizaje. Las instrucciones que se le darán al ejecutor son: a) situar las manos en la cadera, para minimizar la interferencia del tren superior; b) saltar y aterrizar en el mismo sitio; c) mantener extensión de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo; d) establecer un punto de mirada fija, delante del ejecutor, para evitar desequilibrios (Lloyd et al., 2009). El procedimiento consistirá en realizar 20 saltos consecutivos, submaximos, con ambas piernas a la vez y sobre una plataforma de contacto (Ergojump, Bosco-Systems, Rome, Italia). Además, para dar coherencia y coordinación al movimiento, los sujetos utilizarán un metrónomo digital a una frecuencia de 2.0 Hz como definió Hobara et al. (2008) dentro de los límites permitidos. Los datos que se tomarán serán el tiempo de contacto y de vuelo (segundos) de los 10 saltos centrales (5 a 15) (figura 3).



Figura 3: procedimiento para el cálculo de la rigidez muscular

Cada sujeto llevará a cabo 2 intentos, con 1 minuto de descanso entre ellos y de los cuales, se utilizarán los datos para el análisis estadístico del mejor de ellos. Las variables utilizadas para su posterior análisis se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3

Parámetros para el cálculo de la rigidez muscular

Parámetro	Explicación
Tiempo de vuelo	La cantidad de tiempo (s) entre salir y regresar a la colchoneta.
Tiempo de contacto	La cantidad de tiempo (en segundos) que el participante estaba en contacto con el suelo.

Nota. Recuperado de Lloyd et al. (2009)

2.4. Análisis estadístico

Una estadística descriptiva de todas las variables será llevada a cabo a través del cálculo de la media y desviación típica. El análisis estadístico de los datos se realizará a través del programa SPSS en su versión 24 para Windows. Para comparar las medias o lo que es lo mismo, comprobar si el factor intra-sujeto influye sobre las variables dependientes entre el pre-test y post-test se utilizará el ANOVA de medidas repetidas. El nivel de significación se establecerá en $p < 0,05$.

3. REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine. ACSM (2014). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription.
2. Belli, A., Kyröläinen, H., & Komi, P. V. (2002). Moment and power of lower limb joints in running. *International journal of sports medicine*, 23(02), 136-141.
3. Brughelli, M., Mendiguchia, J., Nosaka, K., Idoate, F., Los Arcos, A., & Cronin, J. (2010). Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. *Physical Therapy in Sport*, 11(2), 50-55.
4. Butler, R. J., Crowell, H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical biomechanics*, 18(6), 511-517.

5. Escalante, Y. (2011). Actividad física, ejercicio físico y condición física en el ámbito de la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 85(4), 325-328.
6. Faude, O., Rößler, R., & Junge, A. (2013). Football injuries in children and adolescent players: are there clues for prevention?. *Sports medicine*, 43(9), 819-837.
7. Gall, F. L., Carling, C., Reilly, T., Vandewalle, H., Church, J., & Rochcongar, P. (2006). Incidence of injuries in elite French youth soccer players. *The American journal of sports medicine*, 34(6), 928-938.
8. Greig, M., & Walker-Johnson, C. (2007). The influence of soccer-specific fatigue on functional stability. *Physical Therapy in Sport*, 8(4), 185-190.
9. Greig, M., & Siegler, J. C. (2009). Soccer-specific fatigue and eccentric hamstrings muscle strength. *Journal of athletic training*, 44(2), 180-184.
10. Hobara, H., Kimura, K., Omuro, K., Gomi, K., Muraoka, T., Iso, S., & Kanosue, K. (2008). Determinants of difference in leg stiffness between endurance-and power-trained athletes. *Journal of biomechanics*, 41(3), 506-514.
11. Jacobs, R., & van Ingen Schenau, G. J. (1992). Intermuscular coordination in a sprint push-off. *Journal of biomechanics*, 25(9), 953-965.
12. Jacobs, R., Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (1996). Mechanical output from individual muscles during explosive leg extensions: the role of biarticular muscles. *Journal of biomechanics*, 29(4), 513-523.
13. Krstrup, P., Aagaard, P., Nybo, L., Petersen, J., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2010). Recreational football as a health promoting activity: a topical review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(s1), 1-13.
14. Kucera, K. L., Marshall, S. W., Kirkendall, D. T., Marchak, P. M., & Garrett, W. E. (2005). Injury history as a risk factor for incident injury in youth soccer. *British journal of sports medicine*, 39(7), 462-462.
15. Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2009). Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of sports sciences*, 27(14), 1565-1573.
16. Mendiguchia, J., Samozino, P., Martinez-Ruiz, E., Brughelli, M., Schimkli, S., Morin, J. B., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Progression of mechanical properties during

on-field sprint running after returning to sports from a hamstring muscle injury in soccer players. *International journal of sports medicine*, 35(08), 690-695.

17. Morin, J. B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680-1688.
18. Morin, J. B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International journal of sports physiology and performance*, 11(2), 267-272.
19. Nagahara, R., Morin, J. B., & Koido, M. (2016). Impairment of sprint mechanical properties in an actual soccer match: a pilot study. *International journal of sports physiology and performance*, 11(7), 893-898.
20. Oliver, J. L., Croix, M. B. D. S., Lloyd, R. S., & Williams, C. A. (2014). Altered neuromuscular control of leg stiffness following soccer-specific exercise. *European journal of applied physiology*, 114(11), 2241-2249.
21. Price, R. J., Hawkins, R. D., Hulse, M. A., & Hodson, A. (2004). The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. *British journal of sports medicine*, 38(4), 466-471.
22. Rahnema, N., Reilly, T., Lees, A., & Graham-Smith, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *Journal of Sports Science*, 21(11), 933-942.
23. Rössler, R., Junge, A., Chomiak, J., Dvorak, J., & Faude, O. (2016). Soccer injuries in players aged 7 to 12 years: a descriptive epidemiological study over 2 seasons. *The American journal of sports medicine*, 44(2), 309-317.
24. Rumpf, M. C., & Cronin, J. (2012). Injury incidence, body site, and severity in soccer players aged 6–18 years: implications for injury prevention. *Strength & Conditioning Journal*, 34(1), 20-31.
25. Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 120-125.
26. Verhagen, E. A. L. M., & van Mechelen, W. (2010). Sport for all, injury prevention for all.

27. Watsford, M. L., Murphy, A. J., McLachlan, K. A., Bryant, A. L., Cameron, M. L., Crossley, K. M., & Makdissi, M. (2010). A prospective study of the relationship between lower body stiffness and hamstring injury in professional Australian rules footballers. *The American journal of sports medicine*, 38(10), 2058-2064.
28. Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M., & Hodson, A. (2002). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football—analysis of preseason injuries. *British journal of sports medicine*, 36(6), 436-441.

