



BASES FISIOLÓGICAS DEL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA A LA FATIGA EN EL FUTBOL COMPETITIVO



Magni Mohr | Investigador | Departamento de Alimentos, Nutrición y Ciencias del Deporte | Universidad de Gothenburgo | Gothenburgo | Suecia

F. Marcello Iaia | Investigador Científico | Departamento de Ciencias Biomédicas para la Salud | Università degli Studi di Milano | Milán | Italia

PUNTOS CLAVE

- La fatiga se desarrolla temporalmente durante los periodos más intensos de un juego de futbol, así como hacia el final de un juego, y los dos tipos de fatiga están relacionados con diferentes sistemas fisiológicos.
- Se propone que la fatiga temporal es causada por la acidificación del músculo y la despolarización del potencial de membrana en reposo del músculo, y la fatiga al final del juego puede estar asociada con el agotamiento de las reservas de glucógeno muscular en las fibras musculares individuales o en los compartimentos de las células musculares.
- El entrenamiento aeróbico de alta intensidad y de resistencia a la velocidad son estrategias eficientes de entrenamiento para resistencia a la fatiga en el futbol elite.
- Se ha demostrado que el entrenamiento intermitente intenso mejora una amplia gama de sistemas fisiológicos relacionados directa o indirectamente tanto al rendimiento en la resistencia como al ejercicio de alta intensidad en atletas entrenados.
- Las grandes variaciones individuales en las demandas del juego y los perfiles de fatiga están presentes en el futbol, lo cual sugiere mayor énfasis en el acondicionamiento físico individual para los jugadores de futbol elite.

INTRODUCCIÓN

El juego del futbol es un deporte intermitente de múltiples sprints y con cambios frecuentes en la actividad en el cual se unen el ejercicio intermitente prolongado con periodos de corta duración que incluyen carreras de alta intensidad y acciones explosivas específicas del futbol (Mohr et al., 2003). Por lo tanto, un juego de futbol demanda una capacidad de alta resistencia, así como la habilidad de rendir repetidamente a una intensidad de ejercicio máxima o cercana al máximo. Esta noción está respaldada por varios estudios científicos que reportan una alta exigencia de ambas vías energéticas, la aeróbica y anaeróbica, durante un juego de futbol (para una revisión ver Bangsbo et al., 2006a).

También se ha demostrado que la alta carga fisiológica provoca diferentes tipos de fatiga durante el curso de un juego de futbol (Mohr et al., 2005). Por ejemplo, se ha demostrado que los jugadores de futbol de primera clase se fatigan temporalmente durante los periodos más intensos de un juego, así como en la fase final de un juego, lo cual sugiere que se asocia con diferentes mecanismos fisiológicos (Mohr et al., 2005; Mohr, 2008). El tipo de fatiga transitoria que experimentan los jugadores durante los intervalos más intensos del juego parece tener una recuperación relativamente corta y se sugiere que está relacionado a mecanismos fisiológicos que tienen una tasa de recuperación rápida. Por lo que un alto intercambio de energía anaeróbica con la acumulación intramuscular resultante de iones de hidrógeno (H^+) o de fosfato inorgánico (P_i) así como la despolarización del potencial de membrana en reposo inducido por las alteraciones en la homeostasis del sodio (Na^+), potasio (K^+) y cloro (Cl^-) muscular han sido propuestos como los principales candidatos para el desarrollo de este tipo de fatiga (Bangsbo et al., 2006a; Mohr, 2008). En contraste, se ha demostrado que el tipo de fatiga más permanente generalmente acumulada en el segundo tiempo y especialmente hacia el final de un juego, tiene un mayor tiempo de recuperación. Por ejemplo, se ha demostrado en diversos estudios que la capacidad de fuerza máxima voluntaria no se recupera totalmente hasta 72 horas después de un juego en jugadores de futbol entrenados (Mohr et al., 2005; Mohr, 2008; Krstrup et al., 2011). Por lo tanto, es probable que la fatiga al

final y después del juego sean inducidas en parte por la depleción de los depósitos de glucógeno muscular en las fibras musculares individuales o en los compartimentos de glucógeno subcelulares con la alteración concomitante del manejo del calcio muscular (Ca^{2+}) (Nielsen et al., 2011). Además un grado crítico de daño muscular potencialmente afecta de forma negativa numerosos sistemas neuro-musculares, que pueden jugar un papel en el tipo de fatiga más permanente que aparece en las últimas etapas de un juego de futbol (Mohr, 2008; Krstrup et al., 2011).

De este modo, el principal objetivo del acondicionamiento físico en el futbol es enfocarse en los mecanismos fisiológicos que causan la fatiga y por lo tanto limitan el rendimiento físico en el futbol. Una mayor resistencia a la fatiga permitirá que los jugadores utilicen sus capacidades técnicas y tácticas durante un juego y especialmente durante los periodos críticos del juego. Así, el propósito del presente artículo es discutir brevemente las bases fisiológicas del entrenamiento de resistencia a la fatiga en el futbol elite. El enfoque principal se realizará en el entrenamiento de resistencia a la velocidad, y se aportarán ejemplos prácticos de acondicionamiento físico individual en el futbol.

INTERVENCIONES DE ENTRENAMIENTO EN EL FUTBOL

El entrenamiento de acondicionamiento físico en cualquier deporte debe tomar en cuenta las demandas del deporte, y en los deportes de equipo como el futbol, las demandas físicas son multifactoriales, lo que conlleva a un reto adicional para los entrenadores y preparadores físicos. Desde un punto de vista práctico es altamente esencial tener claras las definiciones de las categorías del entrenamiento de acondicionamiento físico. Además, estos subcomponentes tienen que representar los sistemas fisiológicos relevantes que tienen importancia para el rendimiento en un partido de futbol. La Figura 1 muestra un resumen de los determinantes del rendimiento en el futbol en relación a diferentes categorías del entrenamiento de acondicionamiento físico así como los mecanismos fisiológicos subyacentes que son el principal objetivo de estas intervenciones de entrenamiento. La figura está basada en Bangsbo y colaboradores (2006b).

Figura 1

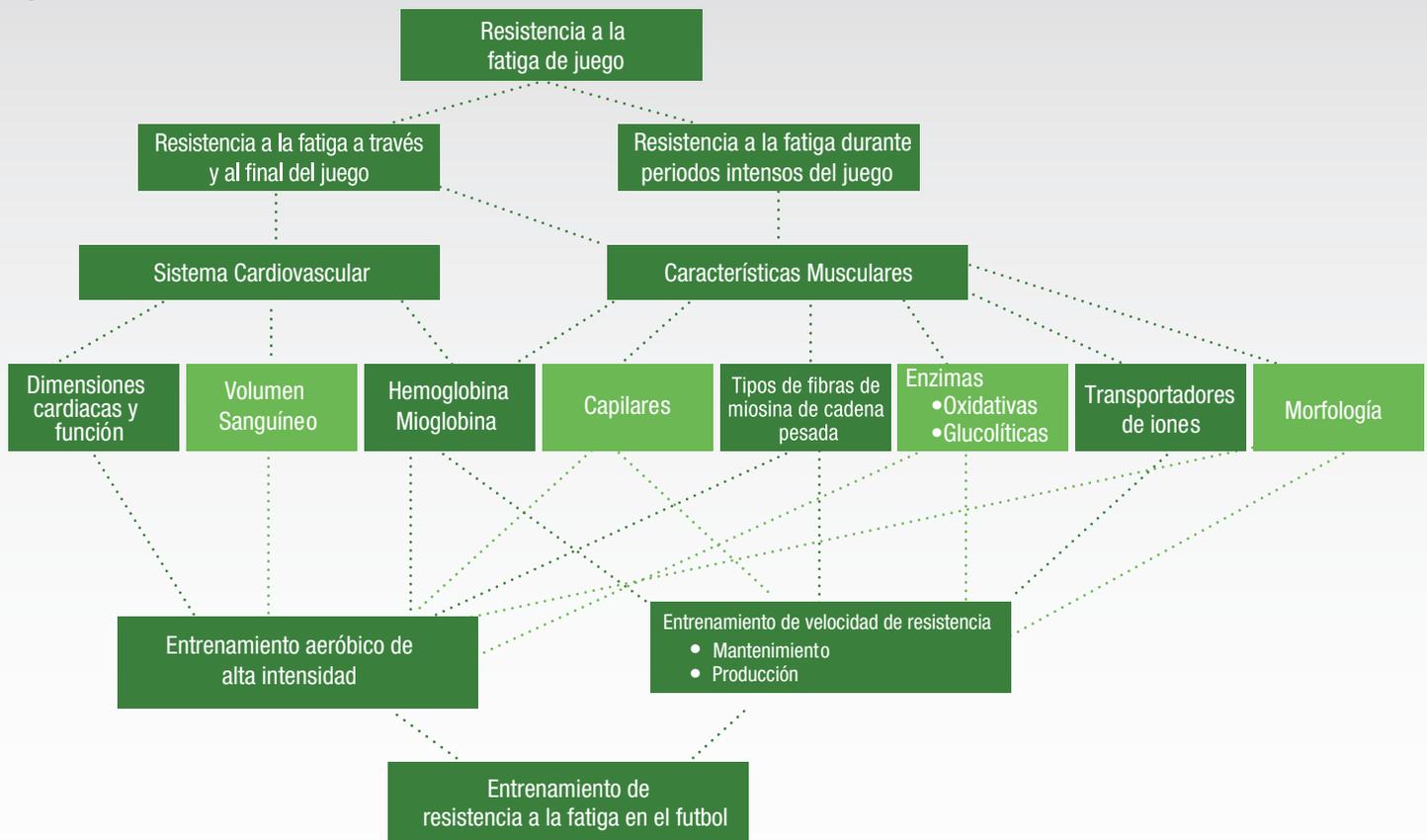


Figura 1. Un modelo de la relación entre las categorías de entrenamiento y los objetivos fisiológicos en el entrenamiento de resistencia a la fatiga en el fútbol.

Entrenamiento aeróbico de alta intensidad

El entrenamiento aeróbico en el fútbol es esencial para la capacidad de resistencia en el fútbol y se puede dividir en entrenamiento aeróbico con intensidad baja, moderada y alta (Figura 1). Las dos primeras subcategorías están siendo utilizadas principalmente como entrenamiento de recuperación y mantenimiento de la condición física. Por ejemplo, la mayoría de las sesiones técnicas y tácticas tendrán principalmente una carga física que se clasificará como entrenamiento aeróbico de moderada intensidad. Sin embargo, el entrenamiento aeróbico de alta intensidad se enfoca principalmente en mejorar los sistemas fisiológicos relacionados a la captación, transporte y utilización de oxígeno; y así, los diferentes componentes del sistema cardiovascular (Bangsbo et al., 2006a; 2006b). El entrenamiento aeróbico de alta intensidad se define como el entrenamiento a una intensidad que corresponde a cerca del 90% de la frecuencia cardíaca máxima (Bangsbo et al., 2006b), y en el fútbol generalmente se lleva como juegos en espacios reducidos diseñados específicamente en intervalos de ejercicios que van de 1-4 minutos espaciados por 1 minuto de recuperación (Bangsbo et al., 2006b). En un estudio se mostró que jugadores profesionales Escandinavos bien entrenados incrementaron su $VO_{2máx}$ de forma importante con las mejoras concomitantes en el rendimiento en el juego después de un periodo con entrenamiento aeróbico de alta intensidad adicional (Helgerud et al., 2001). Los efectos fisiológicos al agregar entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad a atletas bien entrenados de otros deportes que se han mostrado son la mejoría en el $VO_{2máx}$, umbral ventilatorio y de lactato, así como un incremento en la capacidad de utilizar un mayor volumen de masa muscular y la habilidad para oxidar grasas en relación a los carbohidratos (para una revisión, referirse a Laursen, 2010). Además, los jugadores de fútbol muestran una mejoría en el $VO_{2máx}$ (5-11%), economía de carrera

(3-7%) y muestran menores niveles de lactato en sangre durante la carrera submáxima después de 8-12 semanas de carrera aeróbica de alta intensidad (Iaia et al., 2009). Por lo tanto, el entrenamiento aeróbico de alta intensidad es un protocolo de entrenamiento altamente eficiente para el jugador elite de fútbol. El entrenamiento llevado a cabo en algunos de los estudios mencionados anteriormente se realizó como carrera en banda (Helgerud et al., 2001), el cual normalmente no se recomienda para los atletas de deportes de equipo tales como los jugadores de fútbol debido a la falta de especificidad del patrón de actividad en el fútbol y la falta del componente técnico y táctico. Más aún, se ha confirmado que los jugadores de fútbol entrenados son capaces de alcanzar frecuencias cardíacas más altas durante juegos aeróbicos de alta intensidad en espacios reducidos comparado con intervalos de carrera genéricos, y que se pueden lograr adaptaciones fisiológicas y de rendimiento similares con juegos en espacios reducidos así como en la carrera en banda (Impellizzeri et al., 2006). Así, los ejercicios de equipo diseñados específicamente que también tienen un enfoque relevante en la técnica y táctica son muy adecuados como una estrategia de entrenamiento aeróbico de alta intensidad en el fútbol competitivo (ver también Bangsbo et al., 2006b).

Entrenamiento de resistencia a la velocidad

El entrenamiento intensificado ha atraído mucha atención en la última década. En un estudio retrospectivo en nadadores elite, Mujika y colaboradores (1995) reportaron que la intensidad del entrenamiento explicó ~45% de la varianza en la mejoría del rendimiento durante una temporada con una contribución notablemente menor del volumen y frecuencia de entrenamiento. En un estudio en jugadores de fútbol Italianos Ferrari-Bravo y colaboradores (2008) compararon el entrenamiento aeróbico de alta intensidad tradicional (4x4 min al 90-95% de la $FC_{máx}$ separada

por 3 minutos de recuperación) con el entrenamiento de resistencia a la velocidad (3 circuitos x 6 sprints máximos de 40 m). El entrenamiento de intervención fue agregado al entrenamiento normal dos veces a la semana durante un periodo de 7 semanas. En el estudio se demostró que ambos grupos mejoraron su capacidad aeróbica, pero que la intervención con entrenamiento de resistencia a la velocidad indujo mayores mejoras en la prueba Yo-Yo de Recuperación Intermitente, nivel 1 y la habilidad de realizar sprints repetidos al comparar con el protocolo de entrenamiento aeróbico de alta intensidad. Así, la intensidad del entrenamiento parece ser un factor clave para mejorar la condición física en el fútbol en jugadores entrenados. Por lo tanto, el entrenamiento anaeróbico es una parte esencial de la preparación física de los jugadores elite de fútbol.

El entrenamiento anaeróbico se separa en entrenamiento de velocidad y resistencia a la velocidad, siendo el último subcategorizado en producción y mantenimiento de la resistencia a la velocidad (Bangsbo et al., 2006b). La Tabla 1 muestra los principios del entrenamiento anaeróbico en el fútbol.

Tabla 1. Principios del entrenamiento anaeróbico en el fútbol

| Categorías de entrenamiento anaeróbico | Tiempo de ejercicio | Tiempo de recuperación | Intensidad | Número de repeticiones |
|--|---------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------|
| Entrenamiento de velocidad | 2-5 s | >10 veces del tiempo de ejercicio | Máxima (100%) | 6-24 |
| Entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad | 10-40 s | >5 veces del tiempo de ejercicio | Muy alta (70-100%) | 4-12 |
| Entrenamiento de mantenimiento de resistencia a la velocidad | 20-90 s | Como el tiempo de ejercicio | Alta (50-100%) | 4-12 |

Tabla 1. Tiempo de ejercicio y recuperación, intensidad del ejercicio y número de intervalos de ejercicio en el entrenamiento anaeróbico en fútbol. La intensidad del ejercicio se define en relación a la intensidad máxima (total), la cual en esta situación es la velocidad de carrera.

Aunque el entrenamiento de velocidad se realiza como ejercicio máximo, la intensidad de la producción y mantenimiento de la resistencia a la velocidad abarca un rango más amplio de intensidad, especialmente el entrenamiento de mantenimiento de resistencia a la velocidad. Además de las diferencias en el rango de intensidad del ejercicio entre el entrenamiento de producción y mantenimiento de la resistencia a la velocidad, hay otras diferencias importantes. El entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad tiene que realizarse de acuerdo a los principios relativamente similares del entrenamiento de velocidad, sólo con menor intensidad del ejercicio y mayor tiempo de ejercicio, pero con tiempos de recuperación largos entre los intervalos del ejercicio. En contraste, el entrenamiento de mantenimiento de la resistencia a la velocidad se lleva a cabo de acuerdo con los principios comparables con el entrenamiento aeróbico de alta intensidad con intervalos de recuperación relativamente cortos, sólo con intensidades más altas de ejercicio. Esto significa desde un punto de vista práctico que el entrenamiento de mantenimiento de la resistencia a la velocidad es apropiado como objetivo de entrenamiento en juegos convencionales en espacios reducidos (1 vs.1, 2 vs.2, 3 vs.3). En contraste, los juegos

tradicionales de espacios reducidos pueden no ser la estrategia óptima para el entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad donde la intensidad del ejercicio tiene que ser muy alta durante todo el tiempo del ejercicio. En un estudio reciente, comparamos el entrenamiento de mantenimiento de resistencia a la velocidad llevado a cabo como juegos en espacios reducidos (2 vs.2 con porterías y porteros) con el entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad organizado como ejercicios individuales (trayectorias de carrera con retos técnicos con balón, ver los ejemplos de ejercicios en Bangsbo & Mohr, 2014). Se demostró que la velocidad de carrera máxima y promedio fue ~30% y ~60% mayor durante los ejercicios de entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad en comparación con los ejercicios de mantenimiento de resistencia a la velocidad. Además, los jugadores mostraron mayores mejoras en la capacidad de ejercicio intermitente y la habilidad de realizar sprints repetidos después de 4 semanas de la intervención de entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad comparado con el entrenamiento de mantenimiento de resistencia a la velocidad (Mohr y Krstrup, observaciones no publicadas). Esto está respaldado por otros investigadores que aplican el entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad en jugadores elite jóvenes (Ingebrigtsen et al., 2013) y adultos (Thomassen et al., 2010). En el estudio de Ingebrigtsen y colaboradores (2013) el entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad se agregó al entrenamiento normal durante 4 semanas, resultando en mejoría en el rendimiento en la prueba Yo-Yo IR2 así como en la habilidad del entrenamiento de sprint de 10 metros. El estudio de Thomassen y colaboradores (2010) se llevó a cabo durante un periodo de 2 semanas donde los jugadores elite de fútbol redujeron notablemente su cantidad de entrenamiento (el tiempo total de entrenamiento se redujo ~30%), pero enfatizaron el entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad combinado con entrenamiento aeróbico de alta intensidad. Esta intervención demostró una clara mejoría en la capacidad de realizar sprints repetidos (10 sprints x 20 m), con las adaptaciones musculares características correspondientes. Por ejemplo, la expresión de la proteína Na⁺-K⁺ATPasa subunidad α 2 y el estado de la fosforilación en reposo de la proteína accesoria y reguladora FXD1 incrementaron significativamente por el entrenamiento intensificado a pesar de una notable reducción en el volumen de entrenamiento (Thomassen et al., 2010). Se ha demostrado que las subunidades de la Na⁺-K⁺ATPasa se adaptan más eficientemente al entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad comparado con el entrenamiento de velocidad (Mohr et al., 2007) así como al entrenamiento aeróbico (Iaia et al., 2009) con incrementos paralelos en la capacidad de ejercicio intermitente intenso (para una revisión ver Iaia & Bangsbo, 2010). Además, se ha demostrado que la elevación de las subunidades de Na⁺-K⁺ATPasa inducidas por el entrenamiento incrementa la regulación del K⁺ intersticial y la resistencia a la fatiga durante el ejercicio exhaustivo intenso (Nielsen et al., 2004). Más aún, el estudio de Thomassen y colaboradores (2010) indica que también el estado de fosforilación en reposo de la subunidad reguladora FXD1 en jugadores entrenados de fútbol puede cambiar a corto plazo con la priorización del entrenamiento de resistencia a la velocidad. Como respaldo, se ha encontrado una correlación significativa entre la mejoría en el rendimiento de sprints repetidos y el estado alterado de la fosforilación de la subunidad FXD1 (Thomassen et al., 2010). Esto se sugiere para elevar la actividad de la Na⁺-K⁺ATPasa al inicio del ejercicio, lo cual puede contribuir a mejorar la resistencia a la fatiga durante ejercicio intenso repetido como los ya mencionados periodos de máxima intensidad de un juego, donde los jugadores experimentan fatiga temporal. Además de la clara evidencia científica con respecto a la sobre-regulación del potencial de la Na⁺-K⁺ATPasa después del entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad, se ha encontrado que otras proteínas de transporte del sarcolema también responden a este tipo de entrenamiento. De hecho, se ha mostrado que la isoforma 1 del intercambiador Na⁺/H⁺ (NHE1,

por sus siglas en inglés) y en un menor grado el transportador mono-carboxilado (MCT, por sus siglas en inglés) se incrementan después del entrenamiento de resistencia a la velocidad en atletas ya entrenados (Iaia & Bangsbo, 2010). Por lo tanto, el entrenamiento de resistencia a la velocidad mejora la capacidad de regular el pH intramuscular, lo cual puede mejorar directamente la resistencia a la fatiga durante los periodos de alta intensidad de un juego. Más aún, un incremento en la proteína de intercambio de Na^+/H^+ también puede elevar la captación de Na^+ dentro de la célula muscular y por lo tanto estimular potencialmente más a la actividad de la $\text{Na}^+-\text{K}^+\text{ATPasa}$ y causar una hiperpolarización del potencial de membrana en reposo (Iaia & Bangsbo, 2010).

Se investigó la respuesta fisiológica a una sesión estandarizada de entrenamiento de resistencia a la velocidad en un estudio de Mohr y colaboradores (2007), en el cual los participantes realizaron ocho carreras de 30 s a una intensidad de ejercicio que correspondía al $\sim 130\% \text{VO}_{2\text{máx}}$ con 150 s de recuperación. Se demostró que el lactato sanguíneo y el K^+ plasmático alcanzaron niveles máximos >16 y $>6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente, mientras que el lactato muscular se incrementó y el pH muscular declinó notablemente (Mohr et al., 2007). Así, los sistemas de transporte de iones musculares (por ejemplo, $\text{Na}^+-\text{K}^+\text{ATPasa}$, NHE1 y MCT) son altamente estimulados durante el entrenamiento de resistencia a la velocidad, lo cual se respalda por mejorías claras en la resistencia a la fatiga durante ejercicios repetidos de alta intensidad e incrementos correspondientes en la expresión de los respectivos transportadores de iones mencionados arriba. La Tabla 2 proporciona un resumen amplio del cambio en el rendimiento en el ejercicio de alta intensidad (Tabla 2A) y las proteínas transportadoras de iones en músculo juegan papeles importantes en la regulación del pH intramuscular y de la homeostasis de los iones (Tabla 2B) después de periodos de diferentes intervenciones de entrenamiento de alta intensidad que tienen elementos de entrenamiento de resistencia a la velocidad.

Entrenamiento intensificado y rendimiento de resistencia

Diversos estudios que aplican regímenes de entrenamiento basados en resistencia a la velocidad han estudiado los efectos de las variables fisiológicas asociadas con el rendimiento en los eventos deportivos basados en la resistencia. Los estudios que utilizaron sujetos moderadamente entrenados demostraron mejorías que oscilan entre el 3-7% en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (Iaia & Bangsbo, 2010), así como un incremento en la velocidad asociada al $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (Esfarjani & Laursen, 2007). En un estudio realizado por Bangsbo y colaboradores (2009) los corredores de distancia bien entrenados mostraron un incremento de $\sim 3\%$ en el rendimiento de carrera de 3 y 10 km así como del mantenimiento del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y en la actividad tanto de las enzimas glucolíticas como oxidativas. Sin embargo, la economía de carrera a velocidades continuas submáximas incrementaron en 3% y el RER se redujo significativamente durante la carrera de velocidad rápida, lo cual indicó una mayor capacidad de oxidación de grasas durante el ejercicio intenso. Esto puede ejercer un efecto de ahorro de glucógeno muscular durante el ejercicio intenso, lo cual es respaldado por otros investigadores al mostrar una reducción de la degradación del glucógeno muscular después de un periodo con entrenamiento de resistencia a la velocidad (Iaia et al., 2009). Más aún, se ha demostrado en jugadores elite de fútbol que en un periodo corto con reducción del volumen de entrenamiento, pero con mayor enfoque en el entrenamiento de resistencia a la velocidad, se ocasionan mejorías en la economía de carrera (Christensen et al., 2011). Por lo tanto, el entrenamiento de resistencia a la velocidad parece que también mejora la eficiencia mecánica durante el ejercicio en futbolistas entrenados, mientras que la potencia aeróbica y la capacidad oxidativa del músculo se pueden mantener. Estas adaptaciones pueden contribuir a una

resistencia a la fatiga elevada durante y especialmente en las etapas finales de un juego de fútbol.

También otra ventaja fisiológica del entrenamiento intensificado en el fútbol es asegurar que una mayor porción de músculo sea entrenado. Por ejemplo, se ha demostrado en corredores después de reducir su volumen de entrenamiento e incrementar la intensidad de entrenamiento que el área de las fibras tipo II es mayor (Iaia et al., 2009). El reclutamiento de las fibras musculares es altamente dependiente de la intensidad y modo de ejercicio. Con base en los estudios que han observado reducciones en el glucógeno muscular en ambos tipos de fibras I y II, podemos asumir que todos los tipos de fibras se utilizan durante un juego de fútbol (Krustrup et al., 2006). Así, al incluir el entrenamiento aeróbico de alta intensidad y el de velocidad de resistencia en tu estrategia de entrenamiento se esperará una mayor respuesta homogénea al entrenamiento en todos los tipos de fibras musculares.

ENTRENAMIENTO INDIVIDUAL EN EL FUTBOL

Es necesario en los deportes de equipo como el fútbol planear y organizar el entrenamiento de acondicionamiento físico en relación a las demandas individuales de todos los jugadores en el equipo. Los estudios de análisis de juegos demuestran grandes diferencias individuales entre los jugadores en la distancia total recorrida, carrera de alta intensidad (Mohr, 2008; Mohr et al., 2003) así como las características de aceleraciones y sprints (Mohr, 2008; Di Salvo et al., 2009; Bangsbo & Mohr, 2014). La Figura 2 muestra la velocidad máxima, longitud y duración de todos los sprints realizados en un juego por dos diferentes jugadores (A y B). Es claro que el jugador A realiza marcadamente más sprints durante el juego y muchos sprints son mayores a 30 m y que la velocidad máxima alcanzada es mayor a 30 km/h. En contraste, el jugador B realizó sólo algunos sprints en los cuales la mayoría son aceleraciones cortas.

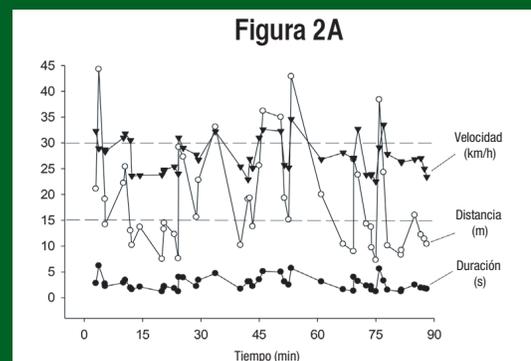


Figura 2. Velocidad máxima, longitud y duración de todos los sprints realizados por dos jugadores de fútbol de clase mundial en el mismo juego.

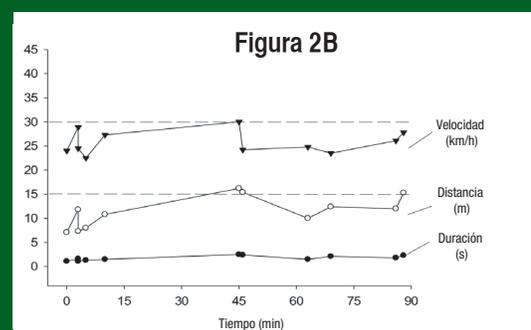


Figura 2. Velocidad máxima, longitud y duración de todos los sprints realizados por dos jugadores de fútbol de clase mundial en el mismo juego.

Hasta cierto grado, estas diferencias están relacionadas con la posición de juego del jugador, pero también se presentan grandes diferencias dentro de la misma posición de juego (ver por ejemplo Bangsbo & Mohr, 2014). Además, se presentan variaciones similares en juegos en pequeños espacios (Dellal et al., 2012), y con algunos tipos de jugadores no hay un consenso entre el perfil de trabajo en los juegos y la respuesta al entrenamiento durante juegos en espacios pequeños (Mohr, observaciones no publicadas). Así, estos jugadores puede que no tengan la carga física suficiente durante los juegos de espacios reducidos que se parezca a las demandas individuales del juego. Por lo tanto, se propone que el entrenamiento de condición física en el fútbol de alto nivel incluya una estrategia individual específica al jugador. Algunos equipos de clase mundial tienen de acuerdo a nuestro conocimiento y experiencia programas de entrenamiento de acondicionamiento específicos a cada jugador como parte regular de su modelo de entrenamiento. La Figura 3 muestra un ejemplo de un ejercicio de producción de resistencia a la velocidad utilizado por un equipo de clase mundial. El ejercicio se construyó para un delantero de clase mundial después de un análisis detallado de su perfil de actividad en un juego, incluyendo retos técnicos importantes que fueron considerados como indicadores clave en el rendimiento para el jugador específico. En el ejercicio el jugador realiza aceleraciones cortas (~5 m), cambios de dirección explosivos y sprints más largos (~30 m), que son similares a las carreras que realiza el jugador en situaciones importantes de juego (Figura 3). El jugador tiene varios retos técnicos incluyendo tres tiros a gol (Figura 3). Todas éstas son similares a situaciones de juego para el respectivo jugador y todas son realizadas a alta velocidad, mientras el jugador está bajo estrés físico.

Figura 3



Figura 3. Ejemplo de un ejercicio individual diseñado para un delantero de clase mundial. El jugador realiza aceleración máxima, cambios de dirección explosivos y sprints en curvas después de un pase largo de un servidor/coach (posición 1; P1) controla el balón utilizando un toque y tira a la portería (1). El jugador gira, realiza una carrera defensiva a alta velocidad (2), después hace un arrancón al lado izquierdo para el pase del servidor/coach (posición 2; P2) y controla el balón con un toque.

El jugador driblea, juega una pared con el servidor/coach, juega con otra pared, gira y realiza un sprint hacia el pase del servidor/coach, juega otra pared, gira y realiza un sprint y tira hacia la portería (5). El tiempo del ejercicio es aproximadamente 20s y el tiempo de recuperación es de 100s. El jugador realiza 12 actividades aeróbicas de baja intensidad.

parte son determinados por los entrenadores y en parte por el análisis detallado del video. Desde una perspectiva fisiológica, el jugador está entrenando los sistemas asociados con la resistencia a la fatiga durante los periodos de máxima demanda de un juego y desde una perspectiva del fútbol, el jugador está siendo retado con componentes técnicos individuales clave del rendimiento en condiciones físicamente demandantes. Desde un punto de vista motivacional y educacional este tipo de entrenamiento también tiene ventajas para que el jugador esté consciente de sus propias demandas de juego y desarrollo físico.

Evaluaciones Bioquímicas/Hormonales/Inmunológicas

Se han realizado algunas investigaciones que evalúan el rango de respuestas bioquímicas, hormonales e inmunológicas al ejercicio, principalmente como una forma de monitorizar la fatiga y minimizar la fatiga excesiva y las enfermedades. Se encuentra fuera del objetivo de este artículo revisar la literatura de esta área; sin embargo, en resumen, el uso de las mediciones bioquímicas, hormonales y/o inmunológicas como indicadores de la carga interna actualmente no está justificada basada en la investigación limitada en esta área. Además de que éstas mediciones pueden ser costosas, implican tiempo y no son prácticas en la aplicación en el terreno de juego (Shetler et al., 2001).

RESUMEN

En resumen un juego de fútbol es altamente demandante y ejerce una demanda considerable de los sistemas energéticos aeróbico y anaeróbico, por lo cual está demostrado que provoca fatiga durante y al final del juego. Por lo tanto, un objetivo principal del entrenamiento físico en el fútbol es mejorar los sistemas fisiológicos asociados con la resistencia a la fatiga específica del juego. El entrenamiento aeróbico de alta intensidad y de resistencia a la velocidad se recomiendan como principales componentes del entrenamiento de resistencia a la fatiga. Finalmente, están presentes grandes variaciones individuales en las demandas físicas y técnicas entre los jugadores de un equipo. Por lo tanto, se propone que se incorpore el entrenamiento de acondicionamiento físico específico de cada jugador en los regímenes de entrenamiento del fútbol elite.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo está dedicado a la memoria de nuestro amigo y colega, Nick Broad.

El ejercicio que se muestra arriba está hecho para satisfacer todos los criterios de entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad con una muy alta intensidad durante el ejercicio. La velocidad de carrera se ajusta a las velocidades máximas alcanzadas en un juego basado en el análisis de datos del juego y que pueden ser monitorizados durante el ejercicio, por ejemplo, con tecnología GPS en tiempo real. Finalmente, los retos técnicos del fútbol son parte de los indicadores clave del rendimiento del jugador específico que en

Tabla 2a Sprints repetidos y rendimiento a ejercicio exhaustivo intermitente de alta intensidad

| Estudio | Sujetos | | | | Entrenamiento | | | | | Cambios en el rendimiento | | | | | | | | | | | |
|---|------------|-------|------------------------|-----------------------------|---------------|--------------------------------|---|----------------------------|------------|---------------------------|------------|---|--------------------------|--------------------------|---|----------------------|----------------------------|---------------------------|----------|----------|-----------|
| | No./Sexo | Edad | Deporte | Estadus de condición física | Tipo | Modo | Intensidad | Duración del ejercicio (s) | Reposo (s) | Num. Rep | Num. Serie | Recuperación (min) | Frecuencia (días/semana) | Duración total (semanas) | Volumen de entrenamiento/obito agregado | Mejor sprint/PPO (%) | Media/Sprint total/MPO (%) | Indice de fatiga/Secb (%) | YPR1 (%) | YPR2 (%) | Otros (%) |
| Sempello et al. 2012 | 7H 3M | 22 | Deportes de equipo | No ATH | SR | Banda | Máxima | 4 | 20 | 5 | 3 | 4.5 | 3 | 4 | - | 2.4 | 10.6 | -2.5 | - | - | - |
| Sempello et al. 2011 | 7H 3M | 22 | Deportes de equipo | No ATH | SR | Banda | Máxima | 4 | 20 | 5 | 2 | 4.5 | 3 | 3.3 | n.l. | 8.6 | 9.2 | - | 7.3 | - | - |
| Fernandez et al. 2011 | 12H | 21 | Tenis | ATH | SR | Carrera | Máxima | -5 | 15 | 10 | 3 | Recuperación activa 8 min de 2 vs 1 juego de tenis) | 3 | 6 | Apogeo al entrenamiento de intervención: 1-2 entrenamientos de baja intensidad para prevención de lesiones | - | 3.8 | -13.9 | - | - | - |
| Ferrari Bravo et al. 2007 | 13 H | 17-23 | Soccer | ATH | SR | Carrera | Máxima | -7-8 | 20 | 6 | 3 | 3 | 2 | 7 | Mantenimiento al entrenamiento de intervención: 1-2 entrenamientos/sem | - | 2.1 | -10.4 | 28.1 | - | - |
| Fraiss et al. 2013 | 20 H | 35 | Ciclismo | No ATH | EMRV | Ciclogergo metro | Máxima | 10 | 20 | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | Apogeo al entrenamiento de intervención: 5 h de entrenamiento no especificado | 5.6 | 5.9 | - | - | - | |
| Mohr et al. 2007 | 7 H | 25 | Deportes de equipo | No ATH | EMRV | Carrera | 130% VO2max | 30 | 90 | 8 | 1 | - | 3-6 | 8 | n.l. | 1 | 2.4 | 53.8 | 28.7 | - | |
| Edge et al. 2010 | 6 M | 19 | Deportes de equipo | No ATH | EMRV | Ciclogergo metro | 92-111% VO2max | 120 | 180 | 6-10 | 1 | - | 3 | 5 | Mantenimiento | - | 12.0 | - | - | - | |
| Waldale et al. 2009 | 3 H 3 M | 19 | Badminton | n.l. | EMRV | Especifico de Badminton | Máxima | 20 | 10 | 7-15 | 1 | - | 2 | 4 | Mantenimiento 4 sesiones/semana de entrenamiento regular de badminton) | - | 5 | -7.5 | - | - | |
| NoATH = No atletas, ATH = Atletas, S = Entrenamiento de Sprint, SR = Entrenamiento de Sprints Repetidos, EMRV = Entrenamiento de Mantenimiento de Resistencia a la Velocidad, EPRR = Entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad. n.l.= no reportado, ↑ incremento significativo, ↓ indica reducción significativa Sde: = porcentaje de reducción, YPR = Prueba de recuperación intermitente de Yo-Yo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estudio | Sujetos | | | | Entrenamiento | | | | | Cambios en el rendimiento | | | | | | | | | | | |
| Autor | No./Sexo | Edad | Deporte | Estadus de condición física | Tipo | Modo | Intensidad | Duración del ejercicio (s) | Reposo (s) | Num. Rep | Num. Serie | Recuperación (min) | Frecuencia (días/semana) | Duración total (semanas) | Volumen de entrenamiento/obito agregado | Mejor sprint/PPO (%) | Media/Sprint total/MPO (%) | Indice de fatiga/Secb (%) | YPR1 (%) | YPR2 (%) | Otros (%) |
| Ottendad et al. 2000 | 9H | 24 | - | n.l. | ATH | Ciclogergo metro | Máxima | 10 | 50 | 20 | 1 | - | 3 | 5 | - | - | 12 | - | - | - | - |
| Dunson et al. 1996 | 9H | 22 | - | 57 | ATH | Carrera | 90-100% Máxima | <10 | 40-60 | 4-8 | 3-5 | 2-4 | 3 | 6 | - | - | 2.2 | -16.9 | - | - | - |
| Mickena et al. 1993 | 6H | 19 | - | 51.1 | No ATH | Ciclogergo metro | Máxima | 30 | 150-240 | 4-10 | 1 | - | 3 | 7 | - | 6.0 | 10.6 | 6.0 | - | - | - |
| Thomasen et al. 2010 | 7H | 23 | Soccer | -55 | ATH | Especifico de Soccer | Máxima | 25-30 | -180 | 10-12 | 1 | - | 2 | 2 | -30% de volumen de entrenamiento de alta intensidad aeróbica (SSQ) | ↔ | 1.9 | -36.7 | - | 6.1 | - |
| Gumarsan et al. 2012 | 7H | 23.3 | Soccer | 60.6 | ATH | Carrera + Especifico de Soccer | 90-95% Máxima | 30 | 180 | 5-9 | 1 | - | 1 | 5 | +11% de volumen de entrenamiento de alta intensidad aeróbica (SSQ) | - | - | - | - | 0.8 | - |
| Ingabrigsen et al. 2012 | 16H | 17 | Soccer | n.l. | ATH | Carrera | 80-100% Máxima | 30-40 | 180-240 | 5-6 u 8-10 | 1 o 2 | 5 | 2 | 6 | Mantenimiento | 1 | 0.9 | - | - | 11.3 | - |
| Isla et al. 2008 | 8H | 33.4 | Carrera de resistencia | 55.8 | ATH | Carrera | Velocidad máxima durante 30s en un sprint corriendo | 30 | 180 | 8-12 | 1 | - | 3-4 | 4 | -64% de volumen de entrenamiento de alta intensidad aeróbica | - | - | - | - | 19 | - |
| Gumarsan et al. 2013 | 8H | 34 | Ciclismo | 59.1 | ATH | Bicicleta | 85-95% PPO | 30 | 270 | 10-12 | 1 | - | 2-3 | 7 | -70% de volumen de entrenamiento de alta intensidad aeróbica. Además del entrenamiento de intervención: 1-2/semana 4-50-4 min al 90-100% de la Pmax | 4.0 | 3.0 | - | - | - | - |
| NoATH = No atletas, ATH = Atletas, S = Entrenamiento de Sprint, SR = Entrenamiento de Sprints Repetidos, EMRV = Entrenamiento de Mantenimiento de Resistencia a la Velocidad, EPRR = Entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad. n.l.= no reportado, ↑ incremento significativo, ↓ indica reducción significativa Sde: = porcentaje de reducción, YPR = Prueba de recuperación intermitente de Yo-Yo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 2b. Prolifera reguladoras del pH muscular y capacidad de amortiguamiento muscular in vitro

| Estudio | Sujetos | | | | | | | | | | Entrenamiento | | | | | | | Prolifera reguladoras del pH muscular (% de cambio) | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|----------|-------|---------|--------------------|-----------------------------|------|--------------------------------|---|----------------------------|---------------|----------|------------|--------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---|------|------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|---|
| | Autor | No./Sexo | Edad | Deporte | VO2max (ml/kg/min) | Estadus de condición física | Tipo | Modo | Intensidad del ejercicio (s) | Duración del ejercicio (s) | Reposo (s) | Num. Rep | Num. Seses | Series | Señas de Recuperación (min) | Frecuencia (días/semana) | Duración total (semanas) | Volumen de entrenamiento agregado | NHE1 | MCT1 | MCT4 | NBCe1 | NBCe2 | CAI | CAW | % | β | |
| Bell et al. 1988 | 8H 1M | - | 26 | - | 52.9 | No ATH | EMRV | Extensión de una pierna | 150% del VO2max del muslo | 20 | 60 | 15-20 | 1 | - | - | 4 | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ↑16 | - |
| Mohr et al. 2007 | 7H | - | 25 | - | 49 | ATH | EMRV | Carrera | 130% VO2max | 30 | 90 | 8 | 1 | - | - | 3-6 | 8 | n.l. | ↑31 | ↑28 | 12 | - | - | - | - | - | - | - |
| Pleguez et al. 1999 | 7H | - | 20-24 | - | n.l. | - | EMRV | Extensión de una pierna | Fuerza: 100-120N (30-s), 50-100N(60-s) | 30 60 | 120 | 2 3 | 3-5 | n.l. | - | 3-5 | 8 | - | - | ↑70 | ↑33 | - | - | - | - | - | 2 | - |
| Juel et al. 2004 | 6H | - | 25.3 | - | 50.2 | - | EMRV | Extensión de una pierna | 150% del VO2max del muslo | 60 | 180 | 15 | 1 | - | - | 3-5 | 7-8 | - | ↑16 | ↑15 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| Härner et al. 2000 | 7H | - | 22 | - | -50 | - | EPRV | Ciclégón etro | Máxima | 30 | 180-240 | 4-10 | 1 | - | - | 3 | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| Sharp et al. 1986 | 8H | - | 22-29 | - | 52.8 | - | EPRV | Ciclégón etro | Máxima | 30 | 240 | 8 | 1 | - | - | 4 | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | ↑37 | - | |
| Ghadda et al. 2006 | 8H | - | 22 | - | -53 | - | EPRV | Ciclégón etro | Máxima | 30 | 240 | 4-6 | 1 | - | - | 3 | 2 | Mantenimiento (2-3 entrenamientos/sema)(-2.5h) | - | - | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| Burgmaster et al. 2007 | 8H | - | 22 | - | 50 | - | EPRV | Ciclégón etro | Máxima | 30 | 240 | 4-6 | 1 | - | - | 3 | 6 | n.l. | ↑20 | ↑20 | ↑50 | - | - | - | - | - | - | - |
| Thomassen et al. 2010 | 7H | - | 23 | - | -55 | ATH | EPRV | Especifico de Soccer | Máxima | 25-30 | -180 | 10-12 | 1 | - | - | 2 | 2 | -30% de volumen entrenamiento (alta intensidad aeróbica) 6SSQ | -5 | 13 | 12 | - | - | - | - | 8 | - | |
| Gunnarsson et al. 2012 | 7H | - | 23.3 | - | 60.6 | ATH | EPRV | Carrera + Especifico de Soccer | 90-95% Máxima | 30 | 180 | 5-9 | 1 | - | - | 1 | 5 | +11% de volumen de entrenamiento (na +45% de número de jugos/sem) | -6 | ↑9 | 2 | - | - | - | - | - | - | |
| Iaa et al. 2008 | 8H | - | 33.4 | - | 55.8 | ATH | EPRV | Carrera | Velocidad máxima durante 30s en un sprint corriendo | 30 | 180 | 8-12 | 1 | - | - | 3-4 | 4 | -6% de volumen de entrenamiento | ↑30 | -3 | 3 | - | - | - | - | -3 | - | |
| Puype et al. 2013 | 9H | - | 25 | - | 53.3 | - | EPRV | Ciclégón etro | 80% MPD-Maximal | 30 | 270 | 4-9 | 1 | - | - | 3 | 6 | Agregado al entrenamiento de ciclismo de entrenamiento con ejercicio no estructurado | - | 66 | -5 | - | - | - | - | - | - | |
| Gunnarsson et al. 2013 | 8H | - | 34 | - | 59.1 | ATH | EPRV | Bicicleta | 85-95% PPO | 30 | 270 | 10-12 | 1 | - | - | 2-3 | 7 | -70% de volumen de entrenamiento (na +Además del entrenamiento de 2/semana 4-5d-4 min a 60-100% de la fuerza) | 30 | -7 | -19 | - | - | - | - | - | - | |

No ATH = No atletas, ATH = Atletas, S = Entrenamiento de Sprint, SR = Entrenamiento de Sprints repetidos, EMRV = Entrenamiento de Mantenimiento de Resistencia a la Velocidad, EPRV = Entrenamiento de producción de resistencia a la velocidad.
 n.l. = no reportado, ↑ indica reducción significativa, ↓ indica reducción significativa
 NHE1 = Isoforma 1 del intercambiador Na+/H+, MCT = transportador de Monocarboxilato, NBCe = co-transportador de sodio/bicarbonato, CA = Anhidrasa carbónica, β = capacidad de amortiguamiento muscular in vitro

REFERENCIAS

- Bangsbo, J., Mohr, M., and Krstrup, P. (2006a). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J. Sports Sci.* 24:665-674.
- Bangsbo, J., Mohr, M., Poulsen, A., Perez-Gomez, J., and Krstrup, P. (2006b). Training and testing the elite athlete. *J. Exerc. Sci. Fit.* 1:1-14.
- Bangsbo, J., Gunnarsson, T.P., Wendell, J., Nybo, L., Thomassen, M. (2009). Reduced volume and increased training intensity elevates Na⁺-K⁺ pump α 2-subunit expression as well as short- and long-term work capacity in humans. *J. Appl. Physiol.* 107:1771-1780.
- Bangsbo, J. Physiological Demands of Football. (2014a) Sports Science Exchange. Vol. 27, No. 125, 1-6.
- Bangsbo, J., and Mohr, M. (2014b). Individual Training in Football. BangsboSport, Denmark ISBN 9788799488025.
- Christensen, P.M., Krstrup, P., Gunnarsson, T.P., Kiilerich, K., Nybo, L., and Bangsbo, J. (2011). VO₂ kinetics and performance in soccer players after intense training and inactivity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43:1716-1724.
- Dellal, A., Drust, B., and Lago-Penas, C. (2012). Variation of activity demands in small-sided soccer games. *Int. J. Sports Med.* 33:370-375.
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., and Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int. J. Sports Med.* 30:205-212.
- Esfarjani, F. and Laursen, P.B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: effects on VO₂max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately training males. *J. Sci. Med. Sport.* 10:27-35.
- Ferrari-Bravo, D., Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., and Wisloff, U. (2008). Sprint vs. interval training in football. *Int. J. Sports Med.* 29:668-674.
- Helgerud, J., Engen, L.C., Wisloff, U., and Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sport Exerc.* 33:1925-1931.
- Iaia, F.M., Hellsten, Y., Nielsen, J.J., Fernström, M., Sahlin, K., and Bangsbo, J. (2009). Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume. *J. Appl. Physiol.* 106:73-80.
- Iaia, F.M., and Bangsbo, J. (2010). Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 20:11-23.
- Impellizzeri, F.M., Marcora, S.M., Castagna, C., Reilly, T.P., Sassi, A., Iaia, F.M., and Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int. J. Sport Med.* 27:483-492.
- Ingebrigtsen, J., Shalfawi, S.A., Tønnessen, E., Krstrup, P., and Holtermann, A. (2013). Performance effects of 6 weeks of anaerobic production training in junior elite soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 27:1861-1867.
- Krstrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., and Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:1165-1174.
- Krstrup, P., Ortenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T.P., Iaia, F.M., Madsen, K., Stephens, F., Greenhaff, P., and Bangsbo, J. (2011). Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 h after a high-level competitive soccer game. *Eur. J. Appl. Physiol.* 111:2987-2995.
- Laursen, P.B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand. J. Med. Sci. Sports. Suppl.* 2:1-10.
- Mohr, M., Krstrup, P., and Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sports Sci.* 21:519-528.
- Mohr, M., Krstrup, P., and Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *J. Sport Sci.* 23:593-99.
- Mohr, M., Krstrup P., Nielsen J.J., Nybo L., Rasmussen M.K., Juel C., and Bangsbo J. (2007). Effect of two different intense training regimes on skeletal muscle ion transport systems and fatigue development. *Am. J. Physiol. Reg. Integr. Comp. Physiol.* 292:R1594-R1602.
- Mohr, M. (2008). Fatigue development in soccer with reference to intense intermittent exercise. Copenhagen, Denmark, ISBN 9878791771163.
- Mujika, I., Chatard, J.C., Busso, T., Geysant, A., Barala, F., and Lacoste, L. (1995). Effects of training on performance in competitive swimming. *Can. J. Appl. Physiol.* 20:395-406.
- Nielsen, J.J., Mohr, M., Klarskov, C., Juel, C., and Bangsbo, J. (2004). Effect of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in humans. *J. Physiol.* 554:857-870.
- Nielsen, J., Krstrup, P., Nybo, L., Gunnarsson, T.P., Madsen, K., Schröder, H.D., Bangsbo, J., and Ortenblad, N. (2011). Skeletal muscle glycogen content and particle size of distinct subcellular localizations in the recovery period after a high-level soccer match. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112:3559-3567.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Coutts, A. J., and Wisloff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *J. Sci. Med. Sport.* 12:227-33.
- Thomassen, M., Christensen, P.M., Gunnarsson, T.P., Nybo, L., & Bangsbo, J. (2010). Effect of 2-wk intensified training and inactivity on muscle Na⁺-K⁺ pump expression, phospholemman (FX_YD1) phosphorylation, and performance in soccer players. *J. Appl. Physiol.* 108:898-905.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Mohr M. And Iaia M. Physiological basis of fatigue resistance training in competitive football. Sports Science Exchange 126, Vol. 27, No. 126, 1-9, por Samuel García Castrejón y Lourdes Mayol, M.Sc.