



DEMANDAS FISIOLÓGICAS DEL FÚTBOL

Jens Bangsbo | Profesor de Fisiología Humana y Fisiología del Ejercicio | Departamento de Nutrición, Ejercicio y Ciencias del Deporte | Universidad de Copenhague | Copenhague | Dinamarca

PUNTOS CLAVE

- Las demandas en un jugador de fútbol durante un partido pueden determinarse a partir del análisis del juego y de las mediciones fisiológicas durante el partido.
- Una cantidad innumerable de factores influyen en las demandas de un jugador, como su capacidad física, cualidades técnicas, posición de juego, rol táctico y estilo de juego, así como la posesión del balón en el equipo, calidad del oponente, importancia del juego, período de la temporada, superficie de juego y factores ambientales.
- Los períodos de ejercicio de alta intensidad son particularmente importantes, habiéndose demostrado que la cantidad de carreras de alta velocidad son un factor distintivo entre los jugadores de alto nivel y aquellos de nivel más bajo.
- El sistema energético aeróbico es altamente empleado durante un juego de fútbol, con frecuencias cardíacas promedio y máximas de alrededor del 85% y 98% de los valores máximos, respectivamente, correspondiendo a un consumo de oxígeno promedio de alrededor del 70% del máximo.
- La gran cantidad de acciones intensas (>100) durante un juego indica que la tasa de intercambio de energía anaeróbica también es alta durante períodos de juego, con una tasa significativa de utilización de fosfocreatina y acumulación de lactato.
- La cuidadosa planeación del entrenamiento y de las estrategias nutricionales es necesaria en la preparación para el entrenamiento y los juegos.

INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha desarrollado mucha investigación sobre el rendimiento en partidos, y la ciencia se ha incorporado en mayor medida en la planeación del entrenamiento y las estrategias nutricionales para la preparación del entrenamiento y los juegos. Se han estudiado los cambios tanto en el rendimiento como en la respuesta fisiológica a lo largo de un juego con un enfoque en diferencias individuales en el estrés físico al cual se exponen los jugadores en los partidos. Estas diferencias están relacionadas con el nivel de entrenamiento de los jugadores y el rol táctico específico de cada jugador. Esta revisión trata del conocimiento actual acerca de las demandas del juego en un jugador de alto nivel, con un enfoque en el análisis del partido y las mediciones fisiológicas durante el mismo.

ANÁLISIS DEL PARTIDO

Los primeros intentos de analizar el perfil de actividad de los jugadores de fútbol durante juegos se realizaron en Suecia a finales de los años 60s usando análisis de videos de secuencias cortas grabadas de un juego. Esta estrategia se desarrolló posteriormente en Inglaterra y después en Dinamarca y al inicio de los 90s se presentaron en revistas científicas datos acerca de las diferencias existentes entre jugadores de diferentes posiciones de juego (Bangsbo et al., 1991). Inspirados por los sistemas de análisis de partidos basados en videos, un gran número de sistemas automáticos se pusieron en uso por los clubes de fútbol profesional al inicio de este milenio. Los más exitosos fueron los sistemas de cámaras múltiples desarrollados por Amisco y Prozone, los cuales son sistemas de análisis de partidos comúnmente usados hoy en día por varios clubes de fútbol de alto nivel. Los sistemas usan varias cámaras de alta velocidad instaladas en el estadio filmando diferentes secciones del campo para el análisis posterior al juego. Además del análisis táctico, estos sistemas aportan información detallada sobre las características del trabajo de capacidad física en el juego, incluyendo todos los episodios de carrera intensa y también, en años recientes, tomando en cuenta las aceleraciones. La tecnología ha llevado a análisis detallados de muchos aspectos del juego, como la importancia de las tácticas de equipo y el estilo de juego del oponente y su impacto sobre

las demandas físicas, y en los últimos años se ha publicado un gran número de artículos dentro de esta área (Castellano et al., 2014). Esta información ha proporcionado una descripción más detallada de las necesidades de los jugadores, pero la guía de los requerimientos fundamentales de los jugadores no ha cambiado.

CARRERA DE ALTA VELOCIDAD Y EL ESTÁNDAR DE JUEGO

La distancia típica cubierta por un jugador de alto nivel en la cancha durante un partido es 10-13 km (Bangsbo et al., 1991; Mohr et al., 2003; Krstrup et al., 2005; Bangsbo et al., 2006; Mascio & Bradley, 2013). Sin embargo, la mayoría de la distancia se cubre caminando y corriendo a baja intensidad y son principalmente los períodos de ejercicio de alta intensidad los que son importantes. La cantidad de carrera a alta velocidad es lo que distingue a los jugadores de alto nivel de aquellos de nivel más bajo. El análisis computarizado de tiempo-movimiento ha demostrado que los jugadores internacionales de alto nivel realizan 28% más carrera de alta intensidad (2.43 vs. 1.90 km) y 58% más sprints (640 vs. 410 m) que los jugadores profesionales a un nivel más bajo (Mohr et al., 2003). Además, Ingebrigtsen y colaboradores (2012) encontraron que los mejores equipos en la Liga Danesa cubrieron 30-40% más distancia corriendo a alta velocidad al comparar con los equipos que se encontraban en medio y los de último lugar. Por otro lado, Di Salvo y colaboradores (2013) observaron que los jugadores del Campeonato hicieron más carreras de alta velocidad y sprints que los jugadores en la Liga Premier, aunque las diferencias fueran pequeñas. Bajo los mismos criterios, un estudio que comparó el rendimiento en el partido de jugadores en los tres estándares competitivos más altos del fútbol Inglés encontró que los jugadores en la segunda (Campeonato) y tercera categoría (Liga 1) realizaron más carreras de alta velocidad (>19km/h) que aquellos en la Liga Premier (803, 881 y 681 m, respectivamente), lo cual también fue el caso para sprints (308, 360 y 248 m, respectivamente) (Bradley, et al., 2013a). Esto se presentó en todas las posiciones. Además, un grupo de jugadores (n=20) cambiando de equipo y descendiendo de la Liga Premier a la Liga de Campeonato cubrieron más distancia con carrera de alta intensidad (1103 vs. 995 m),

aunque no se observaron diferencias para los jugadores ascendiendo de la Liga de Campeonato a la Premier (945 vs. 1021 m). Las diferencias pueden estar relacionadas con el estilo de juego, con los equipos de la Liga Premier utilizando tácticas de posesión más que con la táctica a balón largo típicamente usada en estándares más bajos, demostrando la influencia mayor de tácticas sobre el rendimiento físico. Es interesante que la distancia cubierta a alta velocidad fue marcadamente mayor para el equipo de nivel más bajo cuando el balón estaba fuera de juego. No se observó diferencia en la Prueba de Resistencia Intermittente Yo-Yo Nivel 2 entre los múltiples grupos, sugiriendo que las diferencias no se debieron a distintas capacidades físicas. Debe notarse que el rendimiento en la Prueba Yo-Yo en los jugadores de la Liga Premier fue de aproximadamente 2,300 m, lo cual es menor que lo observado en los estándares más bajos en Escandinavia (Heisterberg et al., 2013). Por lo tanto, el rendimiento más bajo de los jugadores de la Liga Premier puede también deberse al nivel insuficiente de condición física de estos jugadores. Los datos pueden no ser representativos para otras ligas nacionales.

Debe hacerse notar que los equipos italianos exitosos al parecer cubren menos (4-12%) distancia corriendo a alta intensidad al comparar con los equipos no exitosos, pero cubren más distancia mientras están en posesión del balón (Rampinini et al., 2009). Además, los jugadores cubren más campo con carrera de alta intensidad cuando juegan contra oponentes de mayor calidad al comparar con los de menor calidad (Castellano et al., 2011; Di Salvo et al., 2013; Rampinini et al., 2007). Se ha encontrado que jugar contra oponentes fuertes está asociado con menor posesión del balón (Bloomfield et al., 2005; Lago, 2009), y es posible que los jugadores de estándares más bajos tengan que cubrir distancias más grandes en un intento de acercarse a los jugadores y recuperar posesión. También podría ser que los jugadores con estándares más altos son más selectivos en sus esfuerzos de alta intensidad.

Las diferencias nacionales se ilustran en un estudio que incluye 5,938 análisis de los jugadores de la Liga Española y de la Liga Inglesa FA Premier, el cual revela que la carrera de alta intensidad (21-24 km/h) representa el 3.9% del total de la distancia cubierta y los sprints (>24 km/h) el 5.3%, siendo los jugadores de la Liga FA Premier los que cubrieron una mayor distancia a altas velocidades que los jugadores españoles (Dellal et al., 2011). Por otro lado, tales diferencias en carrera de alta velocidad no se observaron en otros estudios en los cuales los jugadores de la Liga FA Premier se compararon con jugadores italianos y españoles (Bradley et al., 2009; Rampinini et al., 2007). No obstante, no hay duda de que existen diferencias culturales; por ejemplo, los jugadores sudamericanos cubrieron cerca de 1000 metros menos que los jugadores de la Liga Inglesa FA Premier (Rienzi et al., 1998).

Los estudios descritos anteriormente examinaron jugadores masculinos, pero también se han evaluado jugadoras femeninas. Se ha demostrado que la cantidad de carrera de alta intensidad en el fútbol femenino elite es alrededor de 30% más baja que en el fútbol varonil elite (Krustrup et al., 2005; Mohr et al., 2003). Esto se ha confirmado en estudios con jugadoras del más alto nivel compitiendo en la Liga Europea de Campeones (European Champions League), mostrando que ellas cubren menos distancia corriendo a alta velocidad que sus contrapartes masculinos (Bradley et al., 2014). Una de las principales razones es que las jugadoras femeninas poseen una capacidad física menor que los jugadores masculinos en toda una serie de pruebas de aptitud aeróbica y anaeróbica (Krustrup et al., 2010; Bradley et al., 2014).

En resumen, parece seguro concluir que el jugador de alto nivel tiene que ser capaz de realizar ejercicio repetido de alta intensidad y también que innumerables factores influyen en la distancia cubierta en un juego,

incluyendo la capacidad física, las cualidades técnicas, la posición de juego, el rol táctico, el estilo de juego, la posesión del balón del equipo, la calidad del oponente, la importancia del juego, el momento dentro de la temporada, la superficie de juego y los factores ambientales. Algunos de estos se discutirán más adelante.

DIFERENCIAS ENTRE POSICIONES

El perfil de actividad y las demandas en un jugador se determinan por su rol posicional en el equipo. Mohr y colaboradores (2003) estudiaron jugadores del más alto nivel y encontraron que los defensas centrales cubrieron menos distancia total y se involucraron en menos carreras de alta intensidad que los jugadores en otras posiciones, lo cual probablemente esté muy relacionado con sus papeles tácticos y su capacidad física menor (Bangsbo, 1994; Mohr et al., 2003; Krustrup et al., 2003). Los mediocampistas cubrieron las distancias más largas. Sin embargo, hay diferencias marcadas entre los jugadores dentro de la misma posición (Figura 1), que pueden estar relacionadas con el estilo de juego y pueden explicar por qué otros estudios encontraron diferentes resultados. Esto también puede explicar que en el estudio de Dellal y colaboradores (2011) los defensas centrales y los mediocampistas centrales defensivos cubrieron las menores distancias corriendo a alta velocidad y de sprint, mientras que los delanteros cubrieron las distancias más largas corriendo a alta velocidad. Los mediocampistas centrales defensivos cubrieron una distancia mayor que los mediocampistas centrales ofensivos, especialmente en la Liga Inglesa FA Premier (Dellal et al., 2011). Otros estudios han mostrado que los mediocampistas externos cubren las mayores distancias corriendo a alta intensidad (Carling et al., 2008). Además los mediocampistas centrales ofensivos cubrieron la mayor distancia en carrera de alta velocidad cuando su equipo estaba en posesión del balón, mientras que este fue el caso de los mediocampistas externos en la Liga Inglesa FA Premier (Bradley et al., 2013b).

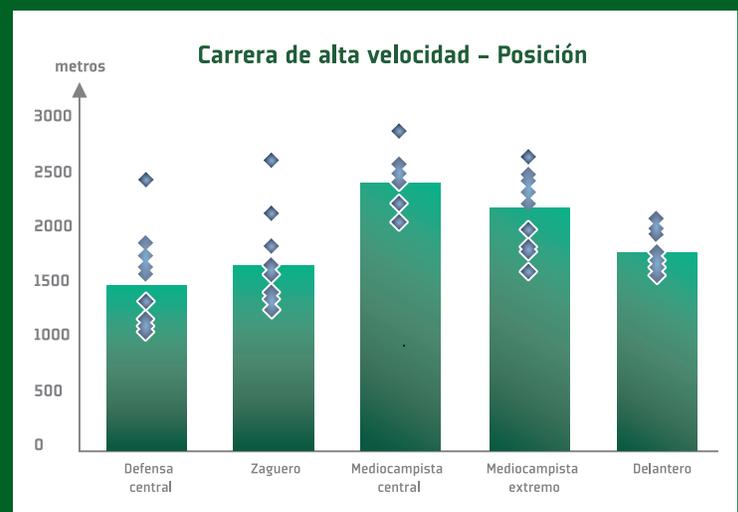


Figura 1. La distancia cubierta con carrera de alta velocidad durante un juego por jugadores en diferentes posiciones. Cada jugador está representado por un símbolo.

También hay diferencias en los tipos de sprints. Un sprint explosivo se define como el logro de la velocidad de sprint precedido por una aceleración rápida (de velocidad baja o moderada), llegando a la zona de alta velocidad en menos de 0.5 segundos. Un sprint continuo se caracteriza por una aceleración gradual de baja a moderada a alta velocidad. Bloomfield y colaboradores (2007) analizaron los sprints continuos y los explosivos para

diferentes posiciones de juego en la Liga Inglesa Premier y demostraron que los defensas y los mediocampistas centrales realizaron menos sprints continuos en comparación con otras posiciones.

La capacidad física de un jugador tiene un gran impacto en el perfil de trabajo durante un partido y existen diferencias marcadas entre los jugadores de primer nivel, incluso dentro de la misma posición, que en cierta medida pueden explicar las diferencias observadas en la carrera de alta velocidad durante el juego (Figura 2). Tales diferencias han sido determinadas por las Pruebas Yo-Yo de recuperación intermitente Nivel 1 (Yo-Yo IR1) y Nivel 2 (Yo-Yo IR2). En promedio, los defensas centrales tuvieron puntajes Yo-Yo IR1 más bajos que los jugadores en otras posiciones, mientras que no se observaron diferencias en el test Yo-Yo IR2, mostrando que los defensas centrales tuvieron menor capacidad de resistencia intensa, pero la misma capacidad de recuperación.

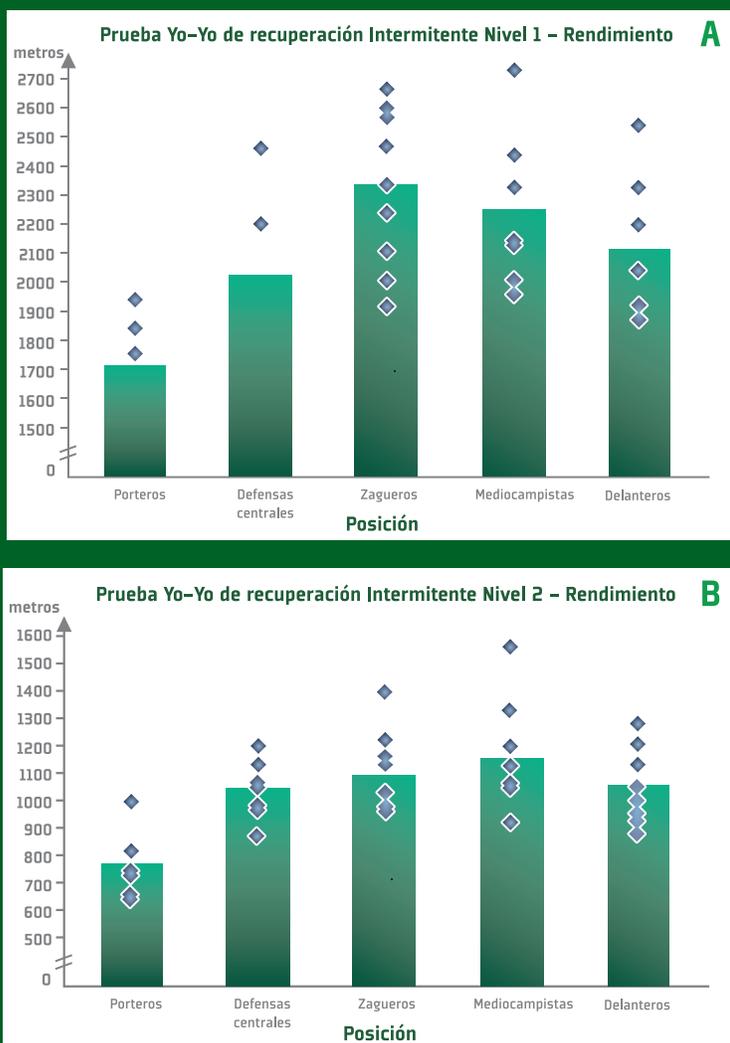


Figura 2. Prueba Yo-Yo de Recuperación Intermitente Nivel 1 (Yo-Yo IR1; A) y Nivel 2 (Yo-Yo IR2; B) en relación a la posición de juego. Cada jugador está representado por un símbolo.

OTRAS ACTIVIDADES DEMANDANTES DEL PARTIDO

Los datos de carrera de alta intensidad no incluyen una serie de actividades de alto consumo energético, como aceleraciones cortas, giros, acciones con el balón, ataques y saltos. Por ejemplo, la mayoría de las aceleraciones máximas no dan lugar a velocidades asociadas con la carrera de alta intensidad, pero aun están contando metabólicamente (Osgnach et al., 2010). Por otra parte, se ha demostrado que los jugadores en la Liga FA Premier hacen alrededor de 700 giros en un juego, siendo alrededor de 600 de ellos de 0 a 90 grados (Bloomfield et al., 2007). Los jugadores participaron en cerca de 110 acciones con el balón con variaciones marcadas. El número de ataques y saltos depende del estilo de juego individual y su posición en el equipo y en el nivel superior se ha demostrado que varían de 3-27 y de 1-36, respectivamente (Mohr et al., 2003). También parece haber diferencias nacionales. En todas las posiciones, el número de títulos para jugadores de la Liga Española fue menor que para los jugadores en la Liga Inglesa FA Premier (Dellal et al., 2011). Por ejemplo, el número de títulos de defensor central en la Liga Española y la FA fue de 5 y 15, respectivamente. Del mismo modo, el número total de duelos de campo por parte de la defensa fue menor en la Liga Española en comparación con la FA (7 vs. 24).

INFLUENCIA DE TÁCTICAS DE EQUIPO SOBRE DEMANDAS FÍSICAS

El estilo de juego y el sistema de equipo juegan un papel en las demandas de los jugadores de forma individual. En un estudio reciente se analizó el efecto de la formación de juego sobre la carrera de alta intensidad y el rendimiento técnico de los equipos de la Liga Inglesa FA Premier (Bradley et al., 2011). No se observaron diferencias en la distancia total recorrida o carrera de alta intensidad entre las formaciones 4-4-2, 4-3-3 y 4-5-1, pero los jugadores en una formación 4-5-1 realizaron menos carreras de muy alta intensidad cuando su equipo tenía la posesión del balón y más cuando su equipo no dominaba el balón comparado con las formaciones 4-4-2 y 4-3-3. Estas diferencias se pueden relacionar con las características de ataque y de defensa inherentes a estas formaciones de juego. Una formación 4-5-1 es un sistema más defensivo que el 4-4-2 y 4-3-3 debido al refuerzo de las zonas del centro del campo, a expensas de los jugadores hacia el frente. Sin embargo, no se observó mucha diferencia en las posiciones individuales, salvo que los delanteros en una formación 4-3-3 llevaron a cabo alrededor de 30% más de carrera de alta intensidad que los delanteros en las formaciones 4-4-2 y 4-5-1. También se observó que el delantero en un 4-5-1 tuvo una disminución significativa en la carrera de alta intensidad en la segunda mitad, que no se observó en los otros sistemas. Puede ser que la formación 4-5-1 requiera trabajo físico enfocado en el delantero, ya que a menudo se encuentra aislado y defendiendo y tiene que ejercer presión sobre la línea del fondo. La posesión total del balón no fue diferente entre las formaciones 4-4-2, 4-3-3 y 4-5-1, pero el número y la fracción de pases exitosos fueron más altos en una formación 4-4-2 en comparación con las 4-3-3 y 4-5-1. En general, los resultados sugieren que las formaciones de juego no influyen en los perfiles de la actividad general de los jugadores, a excepción de los delanteros, pero sí tienen un impacto en la actividad de carrera de muy alta intensidad, con y sin posesión del balón, y en algunos elementos técnicos del rendimiento.

LA FATIGA DURANTE UN PARTIDO DE FÚTBOL

Una pregunta relevante es si la fatiga se produce hacia el final de un partido de fútbol y qué la causa. Es un hallazgo común que la cantidad de sprints, carrera de alta intensidad y distancia recorrida son más bajas en la segunda mitad que en la primera mitad de un partido (Reilly y Thomas, 1979; Bangsbo et al., 1991; Bangsbo, 1994; Mohr et al., 2003; Carling y

Dupont, 2011). Parece que la carrera de alta velocidad se ve afectada en el segundo tiempo por las actividades de la primera mitad, y los defensas y los mediocampistas centrales y laterales de la Liga Premier, que tienen las posiciones de juego más exigentes físicamente, mostraron tener una reducción en el rendimiento en el juego en el segundo tiempo (Bradley et al., 2013B). Además, varios estudios han proporcionado pruebas de que la capacidad, tanto de los jugadores elite y sub-elite de fútbol, para llevar a cabo el ejercicio de alta intensidad se reduce hacia el final de los partidos (Reilly y Thomas, 1979; Mohr et al., 2003, 2004, 2005; Krstrup et al., 2006; Carling y Dupont, 2011). En cualquier caso, las habilidades técnicas no pueden verse afectadas por la reducción en la capacidad de trabajo. Un estudio demostró que los jugadores de elite franceses generalmente fueron capaces de mantener su rendimiento relacionado con las habilidades a lo largo de un juego (Carling y Dupont, 2011). Las reducciones en el rendimiento en la carrera en partidos pueden deberse a que los jugadores emplean estrategias conscientes o subconscientes para mantener el ritmo y permitir la finalización del partido con éxito, por lo que no representan una verdadera fatiga. Sin embargo, el salto, el sprint y el rendimiento en ejercicio intermitente, cuando se evaluaron después de un partido, se redujeron significativamente en comparación con antes de un partido (Mohr et al., 2004, 2005; Krstrup et al., 2006). Otra pregunta relevante es qué ocurre cuando los jugadores compiten en varios juegos importantes dentro un período corto. En un estudio de jugadores de la Liga Francesa no se observaron diferencias ni en la habilidad o el rendimiento físico cuando se jugaron tres partidos en siete días, como a menudo sucede (Carling y Dupont, 2011).

Los jugadores también pueden experimentar fatiga temporal durante un juego. Se ha demostrado en varias ocasiones que los jugadores masculinos de fútbol de elite realizan menos ejercicio de alta intensidad, por debajo de la media del juego, en los cinco minutos posteriores al período más intenso del partido (Mohr et al., 2003; Mascio y Bradley, 2013). Estas reducciones en el rendimiento después de un período de ejercicio intenso podrían ser el resultado de la variación natural en la intensidad del juego debido a factores tácticos o psicológicos. Sin embargo, en otro estudio, los jugadores llevaron a cabo una prueba repetida de sprint inmediatamente después de un período intenso durante cada medio tiempo y también al final de cada mitad (Krstrup et al., 2006). Se demostró que después de períodos intensos en la primera mitad, el rendimiento en sprint de los jugadores se redujo significativamente, mientras que a finales de la primera mitad, la capacidad de realizar sprints repetidos se había recuperado. Juntos, estos resultados sugieren que los jugadores de fútbol experimentan fatiga temporalmente durante el juego.

LAS DEMANDAS DE ENERGÍA DURANTE UN JUEGO

Aunque se han llevado a cabo un gran número de estudios que analizan las actividades de los partidos durante los últimos cinco años, las mediciones que estiman las demandas fisiológicas durante el partido son escasas.

El fútbol es un deporte intermitente en el cual el sistema de energía aeróbica es altamente utilizado con frecuencias cardíacas promedio y máximas de alrededor del 85% y 98% de los valores máximos, respectivamente (Reilly y Thomas, 1979; Ekblom, 1986; Ali y Farally, 1991; Bangsbo, 1994; Krstrup et al., 2005), que corresponde al consumo de oxígeno promedio (VO_2) alrededor de 70% del consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{máx}}$). Esta idea es apoyada por el hallazgo de temperaturas centrales en el rango de 39 a 40°C durante un juego (Ekblom, 1986; Mohr et al., 2004).

Más importante para el rendimiento que la captación de oxígeno promedio durante un juego puede ser el aumento de la tasa de consumo de oxígeno durante muchas acciones cortas e intensas. La frecuencia cardíaca de un jugador durante un partido rara vez está por debajo del 65% de la $\text{FC}_{\text{máx}}$, lo que sugiere que el flujo de sangre a los músculos de las piernas que se

ejercitan es continuamente mayor que en reposo, lo que significa que el suministro de oxígeno es alto. Sin embargo, la cinética del oxígeno durante los cambios de ejercicio de baja a alta intensidad durante el juego parece estar limitada por factores locales y dependen, entre otros aspectos, de la capacidad oxidativa de los músculos que se contraen (Bangsbo et al., 2001; Krstrup et al., 2004; Nyberg et al., 2010). La tasa de aumento en el consumo de oxígeno se puede cambiar con un entrenamiento intenso de intervalos (Krstrup et al., 2004).

La observación de que los jugadores de fútbol de elite realizan 150-250 acciones intensas, breves durante un juego (Mohr et al., 2003) indica que la tasa de recambio de energía anaeróbica es alta durante los períodos de un juego. A pesar de que esto no se ha estudiado directamente, el ejercicio intenso durante un partido llevaría a una tasa alta de rompimiento de fosfato de creatina (PCr), que en gran medida se vuelve a sintetizar en los siguientes períodos de ejercicio de baja intensidad (Bangsbo, 1994). Las mediciones de PCr en las biopsias musculares obtenidas después de períodos de ejercicio intenso durante un partido han mostrado valores de alrededor del 75% del nivel en reposo. Sin embargo, es probable que esta cifra sea significativamente menor durante el partido, ya que estos valores se obtuvieron a partir de biopsias tomadas 15-30 segundos después de las actividades de los partidos, durante los cuales indudablemente pudo haber ocurrido una resíntesis sustancial de PCr (Krstrup et al., 2006). Usando valores adecuados para la resíntesis de PCr, es de esperarse que durante partes de un juego, cuando se hayan realizado varios ataques intensos con solamente períodos cortos de recuperación entre ellos, los valores de PCr estén por debajo del 30% del nivel en reposo.

Se han observado concentraciones promedio de lactato en sangre de 2-10 mM durante partidos de fútbol, con valores individuales por encima de 12 mM (Krstrup et al., 2006). Estos hallazgos indican que la tasa de producción de lactato muscular es alta durante el partido, pero el lactato muscular sólo se ha medido en un solo estudio. En un partido amistoso entre equipos no profesionales, el lactato muscular aumentó cuatro veces (alrededor de unos 15 mmol/kg de peso seco) en comparación con los valores en reposo después de períodos intensos en ambas mitades del partido, siendo el valor más alto de 35 mmol/kg de peso seco (Krstrup et al., 2006). Tales valores son menos de un tercio de las concentraciones observadas durante el ejercicio exhaustivo intermitente a corto plazo (Krstrup et al., 2003). La concentración bastante alta de lactato en sangre frecuentemente vista en el fútbol (Bangsbo, 1994; Ekblom, 1986; Krstrup et al., 2006) puede no representar la producción elevada de lactato en una sola acción durante el juego, sino más bien una respuesta acumulada/equilibrada para un número de actividades de alta intensidad. Es importante tener esto en cuenta al interpretar las concentraciones de lactato en la sangre como una medida de la concentración de lactato muscular. Sin embargo, con base en numerosos estudios que utilizan el ejercicio máximo de corta duración realizado en el laboratorio, y el hallazgo de concentraciones elevadas de lactato en sangre y moderadas de lactato muscular durante el partido, se puede concluir que la tasa de glucólisis es alta por períodos cortos durante un juego.

UTILIZACIÓN DE SUSTRATO DURANTE UN PARTIDO DE FÚTBOL

El glucógeno muscular es un sustrato importante para el jugador de fútbol, como es evidente a partir de diversos estudios donde se ha medido el glucógeno. Saltin (1973) observó que las reservas de glucógeno muscular estaban casi agotadas en el medio tiempo cuando los niveles previos al partido estaban bajos (~45 mmol/kg de peso húmedo). En ese estudio, algunos jugadores que comenzaron el juego con niveles normales de glucógeno muscular (~100 mmol/kg de peso húmedo) aún tenían valores bastante altos en el medio tiempo, pero al final del juego estaban por debajo de 10 mmol/kg de peso húmedo. Otros han encontrado que las concentraciones después del partido fueron de 40-65 mmol/kg de peso

húmedo (Smaros, 1980; Jacobs et al., 1982; Krstrup et al., 2006), lo que indica que las reservas de glucógeno muscular no siempre se agotan al final de un partido de fútbol. Sin embargo, análisis de fibras musculares individuales después de un partido, han revelado que un número significativo de fibras están agotadas o parcialmente agotadas en ese momento, la cual puede ser una de las razones por las que la fatiga parece ocurrir hacia el final de un juego (Krstrup et al., 2006).

La concentración de ácidos grasos libres (AGL) en la sangre aumenta durante un juego, más durante la segunda mitad (Bangsbo, 1994; Krstrup et al., 2006). Los períodos frecuentes de descanso y de baja intensidad en un juego permiten el flujo significativo de sangre al tejido adiposo, lo que promueve la liberación de AGL. Este efecto también se ilustra por el hallazgo de altas concentraciones de AGL en el descanso y después del partido. La sugerencia de una alta tasa de lipólisis durante un juego se apoya en observaciones de los niveles elevados de glicerol, aunque los aumentos son menores que durante el ejercicio continuo, lo que probablemente refleja un intercambio alto de glicerol, por ejemplo, como un precursor de la gluconeogénesis en el hígado (Bangsbo, 1994). Los cambios hormonales pueden jugar un papel importante en el aumento progresivo en el nivel de AGL. Las concentraciones de insulina disminuyen y los niveles de catecolaminas se elevan progresivamente durante un partido (Bangsbo, 1994), estimulando una tasa alta de lipólisis y por lo tanto, la liberación de AGL en la sangre (Galbo, 1983). El efecto se refuerza por bajos niveles de lactato hacia el final de un juego, conduciendo a menor supresión de la movilización de ácidos grasos del tejido adiposo (Bülow y Madsen, 1981; Galbo, 1992; Bangsbo, 1994; Krstrup et al., 2006). Los cambios en AGL durante un partido pueden causar mayor captación y oxidación de AGL de los músculos que se contraen, especialmente durante los períodos de recuperación en un juego (Turcotte et al., 1991). Además, una mayor utilización de triglicéridos musculares podría ocurrir en el segundo tiempo debido a las concentraciones elevadas de catecolaminas. Ambos procesos pueden ser mecanismos de compensación para la reducción progresiva de glucógeno muscular y son favorables para mantener la concentración de glucosa en sangre.

RESUMEN

El papel táctico y el efecto de la situación asociados con la posición de juego individual y el nivel de competencia afectan el trabajo de alta intensidad realizado en un juego. Sin embargo, aunque los jugadores realizan actividades de baja intensidad por más del 70% del juego, las mediciones de la frecuencia cardíaca y de la temperatura corporal sugieren que el consumo promedio de oxígeno para los jugadores elite de fútbol es de alrededor del 70% del $\dot{V}O_2$ máx. Esto puede explicarse en parte por las 150-250 acciones breves intensas que un jugador de primera clase lleva a cabo durante un juego, lo cual también sugiere que las tasas de utilización de PCr y la glucólisis son frecuentemente altas durante un partido. El glucógeno muscular es probablemente el sustrato más importante para la producción de energía, y la fatiga que se presenta hacia el final de un juego puede estar relacionada con el agotamiento de glucógeno en algunas fibras musculares. La oxidación de grasa parece aumentar progresivamente durante un partido, compensando parcialmente la disminución progresiva del glucógeno muscular. La fatiga también puede ocurrir de forma temporal durante un juego.

RECONOCIMIENTO

Los estudios originales del autor fueron apoyados por el equipo de Dinamarca y el Ministerio de Cultura, Dinamarca.

REFERENCIAS

- Ali, A., and M. Farally (1991). Recording football players' heart rate during matches. *J. Sports Sci.* 9(2):183-189.
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of football – with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*. 151 (suppl. 619):1-155.
- Bangsbo, J., L. Nørregaard, and F. Thorsøe (1991). Activity profile of competition football. *Can. J. Sports Sci.* 16(2):110-116.
- Bangsbo, J., P. Krstrup, J. Gonzales-Alonso, and B. Saltin (2001). ATP production and mechanical efficiency during intense exercise, effect of previous exercise. *Am. J. Physiol.* 280: E956-E964.
- Bangsbo, J., M. Mohr, and P. Krstrup (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J. Sports Sci.* 24: 665-674.
- Bloomfield, J., R. Polman, and P. O'Donoghue (2005). Effects of score-line on team strategies in FA Premier League soccer. *J. Sports Sci.* 23: 192-193.
- Bloomfield, J., R. Polman, and P. O'Donoghue (2007). Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. *J. Sports Sci. Med.* 6(1):63-70.
- Bradley, P.S., W. Sheldon, B. Wooster, P. Olsen, P. Boanas, and P. Krstrup (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J. Sports Sci.* 27:159-168.
- Bradley, P.S., C. Carling, D. Archer, J. Roberts, A. Dodds, M. Di Mascio, D. Paul, A.G. Diaz, D. Peart, and P. Krstrup (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *J. Sports Sci.* 29(8):821-830.
- Bradley, P.S., C. Carling, A. Gomez Diaz, P. Hood, C. Barnes, J. Ade, M. Boddy, P. Krstrup, and M. Mohr (2013a). Match performance and physical capacity of players in the top three competitive standards of English professional soccer. *Hum. Mov. Sci.* 32(4):808-821.
- Bradley, P.S., C. Lago-Peñas, E. Rey, and A. Gomez Diaz (2013b). The effect of high and low percentage ball possession on physical and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *J. Sports Sci.* 31(12):1261-1270.
- Bradley, P.S., A. Dellal, M. Mohr, J. Castellano, and A. Wilkie (2014). Gender differences in match performance characteristics of soccer players competing in the UEFA Champions League. *Hum. Mov. Sci.* 33:159-171.
- Bülöw J., and J. Madsen (1981). Influence of blood flow on fatty acid mobilization from lipolytically active adipose tissue. *Pflugers Archive* 390:169-174.
- Carling, C., J. Bloomfield, L. Nelsen, and T. Reilly (2008). The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med.* 38:839-862.
- Carling, C., and G. Dupont (2011). Are declines in physical performance associated with a reduction in skill-related performance during professional soccer match-play? *J. Sports Sci.* 29(1):63-71.
- Castellano, J., A. Blanco-Villaseñor, and D. Alvarez (2011). Contextual variables and time-motion analysis in soccer. *Int. J. Sports Med.* 32(6):415-21.
- Castellano, J., D. Alvarez-Pastor, and P.S. Bradley (2014). Evaluation of Research Using Computerised Tracking Systems (Amisco® and Prozone®) to Analyse Physical Performance in Elite Soccer: A Systematic Review. *Sports Med.* (ePub ahead of print).
- Dellal, A., K. Chamari, D.P. Wong, S. Ahmaidi, D. Keller, R. Barros, G.N. Bisciotti, and C. Carling (2011). Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *Eur. J. Sport Sc.* 11(1): 51-59.
- Di Salvo, V., F. Pigozzi, C. González-Haro, M.S. Laughlin, and J.K. De Witt (2013). Match Performance Comparison in Top English Soccer Leagues. *Int. J. Sports Med.* 34(06): 526-532.
- Ekblom, B (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine* 3:50-60.
- Galbo, H. (1983). Hormonal and Metabolic Adaptations to Exercise. Thime-Stratton. New York, pp. 1-144.
- Galbo, H. (1992). Exercise Physiology: Humoral Function. *Sport Sci. Rev.* 1:65-93.
- Heisterberg, M.F., J. Fahrenkrug, P. Krstrup, A. Storskov, M. Kjær, and J.L.J. Andersen (2013). Extensive monitoring through multiple blood samples in professional soccer players. *Strength Cond. Res.* 27(5):1260-1271.
- Ingebrigtsen, J., M. Bendiksen, M.B. Randers, C. Castagna, P. Krstrup, and A. Holtermann (2012). Yo-Yo IR2 testing of elite and sub-elite soccer players: performance, heart rate response and correlations to other interval tests. *J. Sports Sci.* 30(13):1337-1345.
- Jacobs, I., N. Westlin, J. Karlson, M. Rasmusson, and B. Houghton (1982). Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *Eur. J. Appl. Physiol.* 48:297-302.
- Krstrup, P., M. Mohr, T. Amstrup, T. Rysgaard, J. Johansen, A. Steensberg, P. K. Pedersen, and J. Bangsbo (2003). The Yo-Yo intermittent recovery test: physiological response, reliability and validity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:695-705.
- Krstrup, P., Y. Hellsten, and J. Bangsbo (2004). Interval training elevates muscle oxygen uptake at high but not at low exercise intensities. *J. Physiol.* 559: 335-345.
- Krstrup, P., M. Mohr, H. Ellingsgaard and J. Bangsbo (2005). Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:1242-1248.
- Krstrup, P., M. Mohr, A. Steensberg, J. Bencke, M. Kjær and J. Bangsbo (2006). Muscle and Blood Metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 38: 1165-1174.
- Krstrup, P., M. Zebis, J. Jensen, and M. Mohr (2010). Game-Induced Fatigue Patterns in Elite Female Soccer. *J. Strength Cond. Res.* 24(2):437-441.
- Lago, C. (2009). The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional association football. *J. Sport Sci.* 27:1463-1469.
- Mascio, M., and P.S. Bradley (2013). Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches. *J. Strength Cond. Res.* 27(4):909-915.
- Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sport Sci.* 21:439-449.
- Mohr, M., P. Krstrup, L. Nybo, J. J. Nielsen, and J. Bangsbo (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches – beneficial effects of re-warm-up at half time. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 14(3):156-162.
- Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *J. Sport Sci.* 23(6):593-599.

- Nyberg M, Mortensen SP, Saltin B, Hellsten Y and Bangsbo J. (2010). Low blood flow at onset of moderate-intensity exercise does not limit muscle oxygen uptake. *Am. J. Physiol.* 298: R843-848.
- Osgnach, C., S. Poser, R. Bernardini, R. Rinaldo, and P.E. di Prampero (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42(1):170-178.
- Rampinini, E., A.J. Coutts, C. Castagna, R. Sassi, and F.M. Impellizzeri (2007). Variation in top level soccer match performance. *Int. J. Sports Med.* 28(12):1018-1024.
- Rampinini, E., F.M. Impellizzeri, C. Castagna, A.J. Coutts, and U. Wisløff (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *J. Sci. Med. Sport.* 12(1):227-233.
- Reilly, T, and V. Thomas (1979). Estimated energy expenditures of professional association footballers. *Ergonomics* 22:541-548.
- Rienzi, E., B. Drust, T. Reilly, J. E. Carter, and A. Martin (1998). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 40:162-169.
- Saltin, B.(1973) Metabolic fundamentals in exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 5:137-146.
- Smaros, G. (1980). Energy usage during a football match. In *Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football* (Edited by L. Vecchiet), pp. 795-801. Rome: D. Guanello.
- Turcotte, L. P., B. Kiens, and E.A. Richter (1991). Saturation kinetics of palmitate uptake in perfused skeletal muscle. *Fed. Eur. Biochem. Soc.* 279:327-329.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Bangsbo, J. (2014). Physiological demands of football. *Sports Science Exchange* 123, Vol. 27, No. 125, 1-6, por L.N. Nidia Rodríguez Sánchez y Lourdes Mayol, M.Sc.