

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO FÍSICO DE LOS ÁRBITROS DE FÚTBOL DURANTE PARTIDOS DE COMPETICIÓN OFICIAL

Mallo, J.¹; García-Aranda, J. M.² & Navarro, E.¹

¹ Laboratorio de Biomecánica Deportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (INEF). Universidad Politécnica de Madrid.

² Departamento de Arbitraje. Federación Internacional de Fútbol Asociado. Zurich (Suiza).

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue examinar la evolución de diversos parámetros cinemáticos y fisiológicos durante partidos de competición oficial en árbitros de fútbol. El análisis de la participación en el juego se realizó con un sistema fotogramétrico bidimensional durante 12 partidos del Campeonato del Mundo sub-17 del año 2003. La frecuencia cardiaca se registró con pulsómetros Polar S610 en intervalos de 5 s. Se pudo apreciar un descenso del rendimiento físico en distintos momentos del encuentro: (i) tras los 5 min más intensos del partido en los siguientes 5 min disminuyó ($p<0.05$) la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizado en relación a la media del partido; (ii) en los primeros 15 min del segundo tiempo la distancia recorrida ($p<0.05$), el ejercicio de alta intensidad ($p<0.01$) y la FC_{med} ($p<0.001$) fueron inferiores a los valores de la fase inicial del partido; y (iii) durante el segundo período se produjo una disminución global de la intensidad del esfuerzo. Los resultados de este estudio sugieren que se deben prescribir programas de entrenamiento específicos para los árbitros para prevenir, o cuanto menos retardar, esta pérdida de rendimiento físico en distintos momentos de un partido.

Palabras clave: análisis biomecánico 2D; distancia recorrida; ejercicio alta intensidad; frecuencia cardiaca.

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the behaviour of several kinematical and physiological parameters throughout competitive matches in football referees. Match-analysis was carried out with a bidimensional photogrammetric video system in 12 games from the 2003 FIFA U-17 World Championship. Heart rate was recorded at 5 s intervals using Polar S610 heart rate monitors. An impairment of performance was detected at three different stages of the match: (i) after the most intense 5 min period of the game, in the following 5 min period the amount of high intensity activities were lowered ($p<0.05$) in relation to the 5 min average of the game; (ii) in the first 15 min of the second half distance covered ($p<0.05$), high-intensity activities ($p<0.01$) and mean heart rate ($p<0.001$) decreased in relation to the initial phase of the game; and (iii) during the second half of the game there was a global reduction of intensity. The results of this study suggest that specific fitness training plans for referees should be prescribed in order to avoid, or at least delay, the deterioration of the physical performance during a match.

Key words: procedural knowledge, experience, performance, volleyball.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito del deporte el desarrollo de fatiga tiene un efecto negativo sobre el rendimiento. La fatiga deportiva se puede definir como “el estado en el que deportista no puede mantener el nivel de rendimiento o entrenamiento esperado” (Fernández-García y Terrados, 2004). Mohr *et al.* (2005) concluyen en su revisión

sobre el tema que los futbolistas pueden experimentar fatiga en tres momentos distintos de un partido: (1) tras un periodo de ejercicio intenso, (2) en el inicio del segundo período y (3) en los minutos finales del partido.

La respuesta motriz de un árbitro durante un partido se ve siempre condicionada por la conducta cinemática que adoptan los futbolistas y por la manera en que estos manejan e intervienen con la pelota. El estudio del rendimiento físico del árbitro se ha realizado frecuentemente a partir del análisis de la participación en el juego. Los resultados obtenidos muestran resultados contradictorios en cuanto al comportamiento de las variables cinemáticas en el transcurso de un partido. Mientras que en algunos estudios se ha observado un descenso de la distancia recorrida en los segundos 45 min (Catterall *et al.*, 1993; Johnston y McNaughton, 1994; Castagna y D'Ottavio, 2001; Harley *et al.*, 2001; D'Ottavio y Castagna, 2001b) en otros no se han apreciado diferencias entre períodos (Brodie, 1981; Asami *et al.*, 1988; D'Ottavio y Castagna, 2001a; Krusturp y Bangsbo, 2001). En cualquier caso, parece que la distancia recorrida por un futbolista o árbitro no determina la prestación deportiva ya que el ejercicio que realizan los deportistas es de tipo intermitente. Es por ello que se haya sugerido que la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizado es un mejor indicador de los períodos demandantes del juego y puede verse vinculado con el desarrollo de la fatiga (Bangsbo *et al.*, 1991; Rebelo *et al.*, 1998; Krusturp y Bangsbo, 2001), además de relacionarse con la competición a un nivel más elevado (Ekblom, 1986; Bangsbo, 1994; Mohr *et al.*, 2003) y tratarse de un parámetro estable al analizar a un árbitro en sucesivos partidos (Castagna y Abt, 2003).

Son muchas las causas que pueden incidir en esta alteración del ratio de trabajo entre períodos estando entre ellas la metodología empleada para registrar los datos (Asami *et al.*, 1988; D'Ottavio y Castagna, 2001; Krusturp y Bangsbo, 2001), el criterio utilizado para clasificar las actividades (Asami *et al.*, 1988; Catterall *et al.*, 1993; Johnston y McNaughton, 1994; D'Ottavio y Castagna, 2001a; Krusturp y Bangsbo, 2001), el nivel de condición física de los jueces (Krusturp y Bangsbo, 2001; Castagna y D'Ottavio, 2001), la categoría de la competición (Harley *et al.*, 2001; Castagna *et al.*, 2004) o el ritmo impuesto por los futbolistas según el estilo de juego de los equipos (Reilly, 1997).

Debido a la falta de consenso en la literatura en cuanto a la existencia de un deterioro del rendimiento físico de los árbitros en el transcurso de un partido de fútbol, el objetivo de este trabajo fue analizar la evolución de diversos parámetros cinemáticos y fisiológicos durante el Campeonato del Mundo sub-17 en árbitros internacionales del máximo nivel.

MÉTODO

Muestra

La presente investigación se desarrolló durante el Campeonato del Mundo de categoría sub-17 organizado por la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) que se celebró en Finlandia en agosto del año 2003. En el torneo participaron 11 árbitros de categoría Internacional cuya edad, estatura y masa corporal (media \pm desviación estándar) fue de $33,4 \pm 3,8$ años; $182,6 \pm 7,0$ cm y $80,8 \pm 11,1$ kg. Antes de empezar el torneo se informó del proyecto a todos los árbitros y se obtuvo consentimiento escrito por parte de la Comisión de Arbitraje de la FIFA y de todos los jueces para formar parte de la investigación.

Análisis cinemático

La adquisición de los datos relativos a la participación de los árbitros en los partidos se llevó a cabo empleando una técnica experimental denominada fotogrametría en dos dimensiones (Mallo *et al.*, 2004). A partir de la filmación del terreno de juego con tres cámaras fijas situadas en la tribuna principal de los estadios y aplicando algoritmos basados en el procedimiento de la DLT (“Direct Lineal Transformation”; Abdel-Aziz y Karara, 1971) se pudieron determinar las posiciones de puntos en el plano. La posición del árbitro durante cada segundo de los partidos se digitalizó manualmente en el programa informático Photo23D (Mallo y Navarro, 2004). Los parámetros de la transformación se obtuvieron elaborando un sistema de calibración de seis puntos para las imágenes obtenidas desde cada una de las cámaras. El ajuste de los datos se realizó mediante funciones polinómicas “spline” de quinto orden (Woltring, 1985), a partir de las cuales se pudo calcular la velocidad lineal de los movimientos que se agruparon en las siguientes categorías: (a) estar parado ($<3,6$ km/h); (b) andar ($3,61-7,20$ km/h); (c) trotar ($7,21-13$ km/h); (d) correr ($13,01-18$ km/h) y (e) sprintar (>18 km/h). Todos los desplazamientos que excedían la velocidad lineal de 13 km/h formaban la categoría “Ejercicio de alta intensidad”. Independientemente de la velocidad de carrera, los desplazamientos se clasificaron en movimientos de frente y de espalda según el sentido de locomoción empleado por los jueces.

En todas las situaciones en las que los árbitros señalaban infracciones se digitalizaba la posición del árbitro y del lugar en el que ocurría la falta, para calcular la distancia entre los dos puntos. Las infracciones se clasificaron en función del período de juego en las que se indicaban y según su lugar en el campo. Para ello se partió del modelo de Krustup y Bangsbo (2001) al cual se le añadieron dos zonas adicionales. Veinte metros a cada lado de la línea central divisoria de ambos campos se establecía una línea imaginaria para diferenciar la zona de ataque y la zona central. A su vez, todo el terreno de juego era dividido longitudinalmente en dos mitades:

izquierda y derecha. De este modo, cada mediocampo estaba formado por cuatro zonas: central derecha, central izquierda, ataque izquierdo, ataque derecho.

Estudios previos han definido la validez y fiabilidad de la metodología empleada para la adquisición de los datos cinemáticos (Mallo, 2006). El error obtenido al calcular las distancias resulta inferior al 2%. La fiabilidad intra e inter-observador se calculó repitiendo la digitalización de secuencias compuestas por 2700 fotogramas sin encontrarse diferencias significativas ($p < 0.05$) en las variables cinemáticas.

Frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca se registró mediante el empleo de pulsómetros Polar S610 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) en 10 partidos del Mundial sub-17 con una frecuencia de muestreo de 5 s. Los datos fueron volcados al ordenador y tratados con el software Polar Precision Performance 3.0 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). A partir de los archivos disponibles de sesiones de entrenamiento, partidos de competición y pruebas físicas de cada uno de los árbitros se pudo calcular el valor de frecuencia cardiaca máxima ($FC_{\text{máx}}$) para cada juez. Los esfuerzos se clasificaron en las siguientes categorías en función de la $FC_{\text{máx}}$ individual (basado en Helsen y Bultynck, 2004): (a) recuperación pasiva ($< 65\% FC_{\text{máx}}$); (b) recuperación activa ($66-75\% FC_{\text{máx}}$); (c) media intensidad ($76-85\% FC_{\text{máx}}$); (d) alta intensidad ($86-95\% FC_{\text{máx}}$) y (e) máxima intensidad ($> 96\% FC_{\text{máx}}$).

Tratamiento estadístico

Las diferencias entre grupos se estudiaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) de dos factores con medidas repetidas sobre ambos factores. Así, por ejemplo, para ver la evolución de la distancia recorrida por los árbitros a lo largo del partido se llevó a cabo una ANOVA de dos factores (3 intervalos de juego de 15 min x 2 períodos) realizando las medidas repetidas sobre ambos factores. El mismo criterio se respetó para analizar el sentido y categoría de los desplazamientos y para estudiar el comportamiento de la frecuencia cardiaca. Siguiendo el criterio de Thomas y Nelson (2001), en el texto se representan gráficamente las interacciones entre los factores. Para profundizar en la comparación de las medias se empleó el procedimiento corrector de Bonferroni. El tamaño del efecto se pudo calcular a partir de la diferencia de las medias de los factores a comparar, aplicando la fórmula $(M_1 - M_2) / ds$ (Cohen, 1969, en Thomas y Nelson, 2001). El nivel de significación de alpha se estableció *a priori* en $p < 0.05$.

RESULTADOS

Distancia recorrida

La Figura 1 representa la distribución de la distancia total recorrida en intervalos de 15 min a lo largo del partido. El ANOVA de dos factores reflejó un efecto significativo del factor intervalo, después de ajustar los grados de libertad ($F_{1,16}=5,17$; $p<0.05$), y del factor período ($F_{1,11}=14,18$; $p<0.01$). La distancia recorrida en los primeros 15 min del partido (1981 ± 200 m) fue superior ($p<0.05$) a la de los 15 min que sucedían al descanso (1819 ± 187 m) con una magnitud del efecto de 0,84.

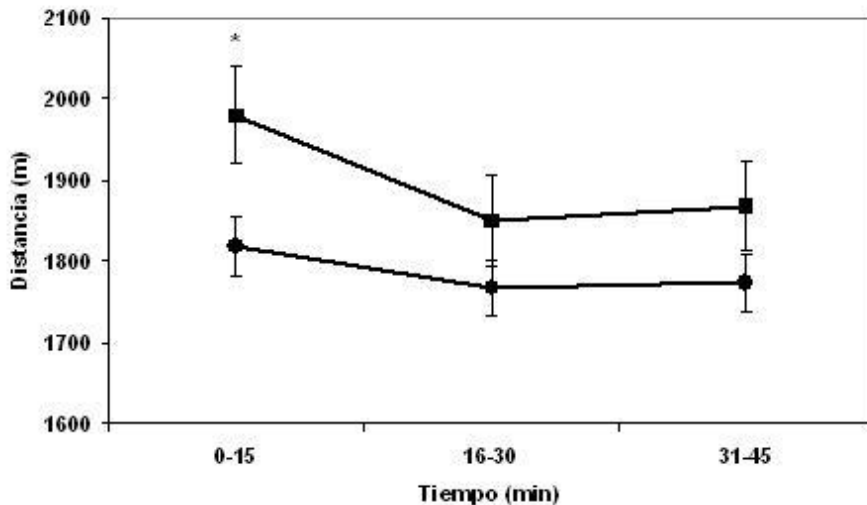


FIGURA 1. Comparación de la distancia recorrida por los árbitros en intervalos de 15 min durante el primer (■) y segundo (●) período de los partidos. (*) Diferencia significativa $p<0.05$ entre períodos.

Distribución de los desplazamientos en categorías

Los desplazamientos se clasificaron en 5 categorías en función de la velocidad lineal de los mismos y se comparó su distribución porcentual en relación al tiempo de juego durante los 2 períodos (Figura 2). La interacción entre los factores categoría de esfuerzo \times período de juego fue significativa ($F_{4,44}=6,61$; $p<0.01$). Tras el descanso, se pudo observar como el porcentaje de tiempo que el árbitro estaba parado aumentó ($p<0.05$) pasando del $23,5 \pm 6,0\%$ al $26,6 \pm 6,8\%$, siendo el tamaño de este efecto de 0,49. Por el contrario el porcentaje de tiempo corriendo disminuyó ($p<0.01$) pasando del $13,4 \pm 3,0\%$ al $11,2 \pm 2,1\%$ (tamaño del efecto: 0,85) y

también lo hizo ($p < 0.01$) el porcentaje de tiempo empleado en la categoría “sprintar” (se pasó del $4,8 \pm 1,5\%$ al $4,3 \pm 1,3\%$; tamaño del efecto: 0,37).

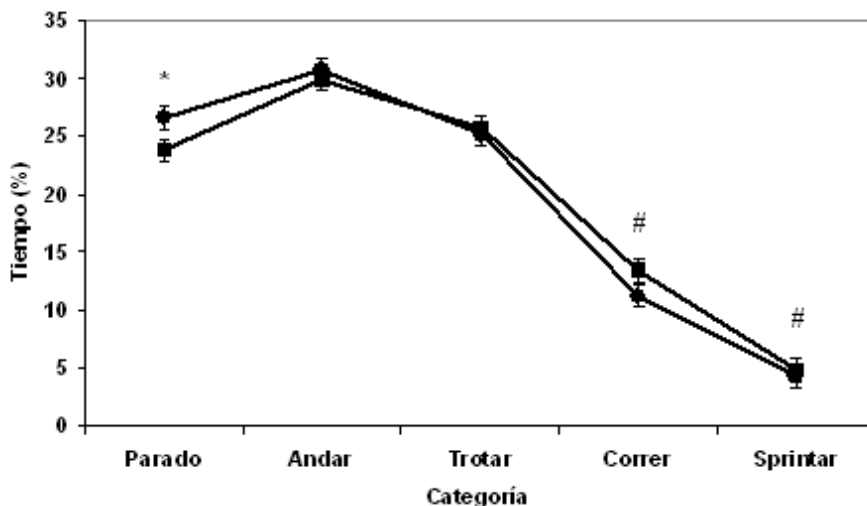


FIGURA 2. Comparación del porcentaje de tiempo empleado en distintas categorías según la velocidad de los desplazamientos durante el primer (■) y segundo (●) periodo de los partidos. (*) Diferencia significativa $p < 0.05$ entre periodos. (#) Diferencia significativa $p < 0.01$ entre periodos.

En relación al sentido empleado en la locomoción la distancia recorrida en forma de desplazamientos de espalda disminuyó ($p < 0.001$) de 938 ± 87 a 768 ± 11 m en los segundos tiempos de los partidos, siendo el tamaño de este efecto de 1,70.

Ejercicio de alta intensidad

En la Figura 3 se puede observar el tiempo empleado en esfuerzos a velocidades por encima de los 13 km/h en intervalos de 15 min. El factor intervalo requirió un ajuste de los grados de libertad, mostrando un efecto significativo ($F_{2,19}=4,22$; $p < 0.05$). También fue significativo el efecto del factor periodo de juego ($F_{1,11}=27,50$; $p < 0.01$). El tiempo empleado en esfuerzos a una alta intensidad fue mayor ($p < 0.01$) en los primeros 15 min del partido (175 ± 37 s) en relación al cuarto de hora que sucedía al descanso (140 ± 34 s) con una magnitud de este efecto de 2,63.

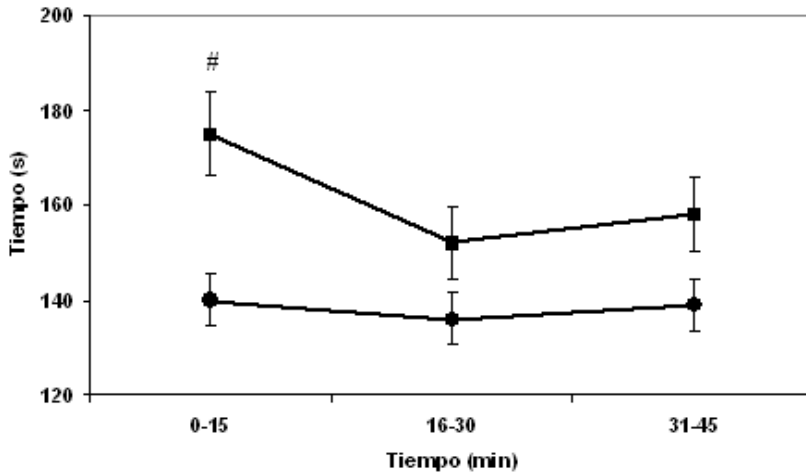


FIGURA 3. Comparación del tiempo empleado en esfuerzos a una alta intensidad en intervalos de 15 min durante el primer (■) y segundo (●) período de los partidos. (#) Diferencia significativa $p < 0.01$ entre periodos.

Tras el intervalo de 5 min en el que el árbitro realizaba la mayor cantidad de ejercicio de alta intensidad, en los siguientes 5 min el tiempo empleado en esta categoría de esfuerzos disminuía ($p < 0.01$) un 31%. Además en estos 5 min posteriores a los de mayores prestaciones en esta categoría el tiempo empleado disminuía significativamente ($p < 0.05$) un 8% en relación a la media del partido en intervalos de 5 min (Figura 4).

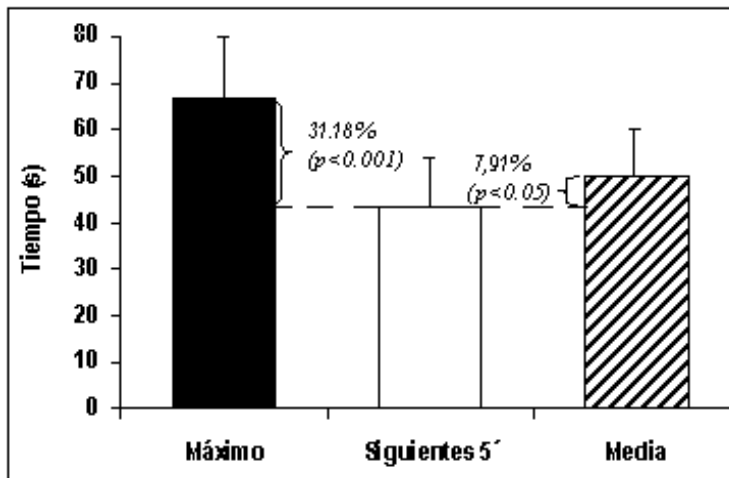


FIGURA 4. Comparación de la cantidad de ejercicio a una alta intensidad realizado en los 5 min posteriores al pico máximo logrado durante los partidos y a la media del partido.

Distancia a las infracciones

Al clasificar las infracciones según la zona en la que éstas eran señaladas se apreció un efecto significativo del factor zona ($F_{3,44}=22,39$; $p<0.001$). La Figura 5 permite observar como en la zona de ataque izquierda la distancia media a las infracciones aumentó ($p<0.05$) del primer al segundo tiempo, pasando de $11,7 \pm 2,1$ m a $15,5 \pm 1,9$ m, siendo el tamaño de este efecto de 0,61.

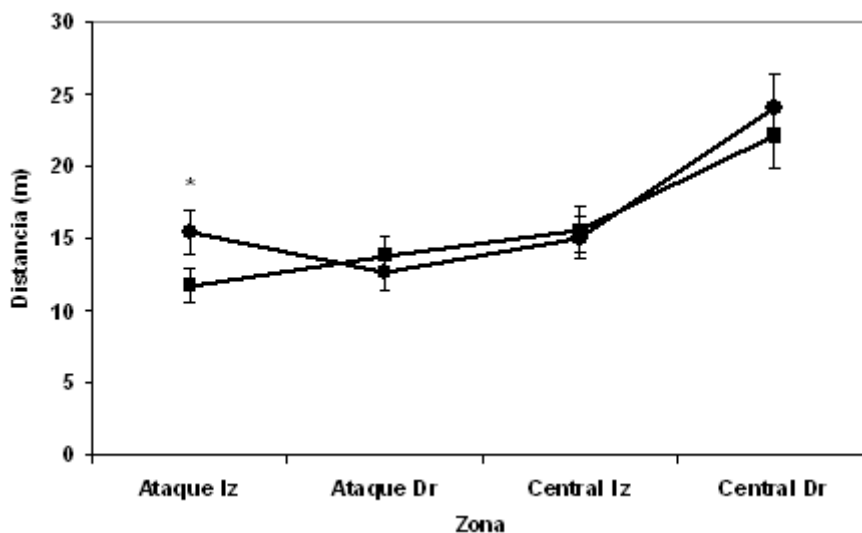


FIGURA 5. Comparación de la distancia media del árbitro al lugar de señalización de las infracciones por zona del campo durante el primer (■) y segundo (●) período de los partidos. (*) Diferencia significativa $p<0.05$ entre períodos.

Frecuencia cardiaca

Al distribuir los valores de FC_{med} de cada 15 min del partido se pudo apreciar un efecto significativo del factor intervalo ($F_{2,18}=11,43$; $p<0.01$) y del factor período ($F_{1,9}=10,72$; $p<0.05$). La FC_{med} fue mayor ($p<0.001$) en los primeros 15 min del partido (166 ± 6 p/min) en relación al cuarto de hora que sucedía al descanso (154 ± 7 p/min) (Figura 6). La magnitud de este efecto fue de 1,83.

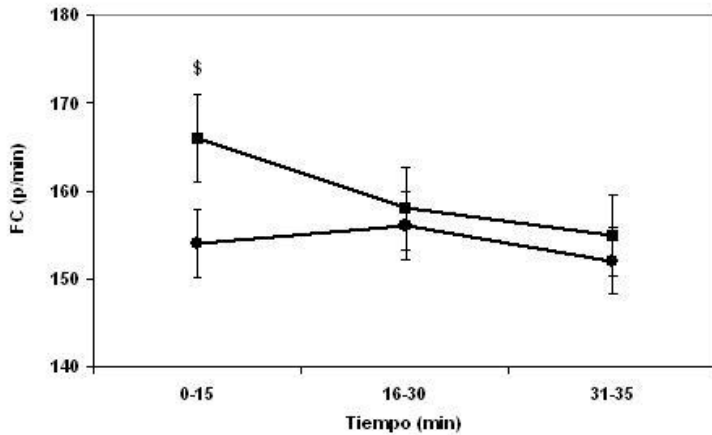


FIGURA 6. Comparación de la FC_{med} de los árbitros en intervalos de 15 min durante el primer (■) y segundo (●) período de los partidos. (§) Diferencia significativa $p < 0.001$ entre períodos.

Distribución de la frecuencia cardiaca en categorías

El ANOVA de los factores categorías de esfuerzo (según porcentaje de la $FC_{m\acute{a}x}$ individual) y período de juego reveló una interacción significativa ($F_{4,36}=6,18$; $p < 0.01$) que se representa gráficamente en la Figura 7. En los primeros tiempos de los partidos los árbitros estaban más tiempo ($13,1 \pm 3,4\%$ vs $5,3 \pm 2,2\%$; $p < 0.001$) ejercitándose a una “máxima intensidad” (tamaño del efecto 2,54), mientras que en los segundos períodos aumentaba ($p < 0.05$) el tiempo empleado en la categoría de “recuperación activa” ($13,8 \pm 2,5\%$ vs $21,4 \pm 3,2\%$), con una magnitud del efecto de 1,15.

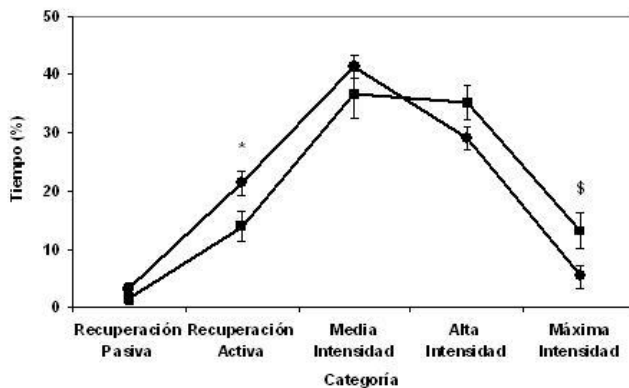


FIGURA 7. Comparación del porcentaje de tiempo empleado en distintas categorías según la $FC_{m\acute{a}x}$ durante el primer (■) y segundo (●) período de los partidos. (*) Diferencia significativa $p < 0.05$ entre períodos. (§) Diferencia significativa $p < 0.001$ entre períodos.

DISCUSIÓN

En el trabajo de investigación actual se ha podido constatar como árbitros del máximo nivel pueden experimentar un descenso del rendimiento físico en distintos momentos de un encuentro de fútbol: tras un período de ejercicio intenso, en la parte inicial del segundo período y en los minutos finales del partido. Para prevenir o retardar la aparición de estos episodios de fatiga el entrenamiento de los árbitros debería estar orientado hacia la mejora de la habilidad para realizar esfuerzos máximos de manera repetida y a la capacidad para realizar ejercicio intermitente de alta intensidad y larga duración. Del mismo modo deberían evitarse períodos de recuperación pasiva excesivamente prolongados en los intermedios de los partidos.

El uso de sistemas informáticos para el análisis de la participación de los árbitros en el juego se ha ido extendiendo durante los últimos años (D'Ottavio y Castanga, 2001a; Krustup y Bangsbo, 2001). El empleo de estas técnicas experimentales permite elaborar un perfil detallado de la actividad cinemática realizada por los jueces durante la competición. La complementación de estos datos con el registro de la frecuencia cardiaca permite obtener una visión más detallada del stress físico que soportan los árbitros durante los partidos de fútbol. En la presente investigación se ha empleado un sistema fotogramétrico bidimensional, siendo el primer estudio en el que la obtención de las variables cinemáticas que caracterizan la intervención de los árbitros en el juego se ha realizado a partir de algoritmos basados en el procedimiento de la DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971). La aplicación de esta técnica experimental avala una gran validez y fiabilidad en los resultados obtenidos de ahí que su empleo fuese seleccionada por la Comisión de Arbitraje de la FIFA para determinar las demandas físicas experimentadas por jueces de alto nivel durante los partidos.

El árbitro de fútbol debe ser capaz de dar respuesta a todas las exigencias físicas y técnicas que pueden acontecer en el transcurso de los partidos ya que la supervisión del juego les exige estar cerca del lugar en el que se disputa la pelota. Para estar capacitados para seguir las acciones con una proximidad tal que les permita decidir con criterio en las situaciones de conflicto los jueces deben asociar al perfecto conocimiento de las Reglas de Juego y su adecuada interpretación, un nivel de condición física que les posibilite lograr la mejor ubicación para el seguimiento de los acontecimientos –sin obstaculizar el desarrollo del juego- al tiempo que les asegure el mantenimiento de la correcta posición a lo largo de todo el partido.

Los datos obtenidos en el presente estudio han permitido constatar como el árbitro puede ver su rendimiento físico comprometido en distintas fases del partido. Así, tras los 5 min del partido en los que realiza la mayor cantidad de ejercicio de alta intensidad, en los siguientes 5 min se pudo apreciar un descenso significativo

($p < 0.01$) del 31% de este tipo de ejercicio, cantidad inferior también a la media del partido. Este hecho había sido descrito en futbolistas de alto nivel (Mohr *et al.*, 2003) aunque, hasta la fecha, no se había observado en árbitros de fútbol. Rebelo *et al.* (1998) habían constatado también un empeoramiento de los futbolistas para realizar sprints repetidos durante los segundos períodos, lo que podría indicar que se puede desarrollar una fatiga transitoria durante el juego. Aunque en este trabajo no se han realizado mediciones bioquímicas sobre los deportistas, las publicaciones existentes en la literatura internacional (Bangsbo, 1994; Mohr *et al.*, 2005) apuntan hacia las perturbaciones de la homeostasis iónica muscular y a la alteración de la excitación del sarcolema como posibles causas principales de la fatiga temporal que acontece durante los partidos tras períodos de ejercicio intenso.

En los primeros 15 min del segundo período el rendimiento físico de los árbitros se veía reducido en relación al cuarto de hora inicial del partido. En esta fase (minutos 46-60) la distancia total recorrida disminuía ($p < 0.05$) un 8% y los esfuerzos realizados a una elevada intensidad eran un 20% inferiores ($p < 0.01$). Este descenso en la prestación cinemática se acompañaba de una disminución significativa ($p < 0.001$) de los valores de FC_{med} en relación al comienzo del partido. Krstrup y Bangsbo (2001) y Mohr *et al.* (2003) también plasmaron como los árbitros y futbolistas tenían una menor actividad en la reanudación del juego tras el descanso. Un período de recuperación o inactividad de 15 min puede producir un enfriamiento de los músculos con el consiguiente deterioro de la capacidad para realizar ejercicio a una alta intensidad. Krstrup *et al.* (2002) y Mohr *et al.* (2004) observaron descensos significativos de la temperatura muscular de entre 1 y 2 °C como consecuencia del intermedio en árbitros asistentes y futbolistas, respectivamente, lo que repercutía en una peor capacidad para realizar ejercicio intenso con posterioridad. Mohr *et al.* (2004) plantearon una estrategia para evitar esta pérdida de rendimiento en la reanudación que consistía en realizar una recuperación pasiva los 7 primeros minutos del intermedio y en los siguientes 7 min realizaban una actividad aeróbica moderada (al 70% de la $FC_{máx}$ alcanzada durante el juego), finalizando la actividad 1 min antes del inicio del segundo tiempo. La realización de este tipo de trabajo en el descanso prevenía el deterioro del rendimiento físico en el inicio del segundo período.

En los segundos 45 min de los partidos se pudo observar también un aminoramiento del rendimiento físico del árbitro: disminuía significativamente la distancia recorrida (-6%; $p < 0.01$), los esfuerzos a una alta intensidad (-15%; $p < 0.01$), la FC_{med} (-3%; $p < 0.05$) y el tiempo ejercitándose por encima del 95% de la $FC_{máx}$ (-8%; $p < 0.001$), mientras que aumentaba de modo significativo el tiempo estando parado (+3%; $p < 0.05$), la distancia a la cual se señalaban las infracciones en la zona de ataque izquierda (+32%; $p < 0.05$) y el tiempo empleado en intensidades

cardiacas entre el 66 y 75% de la $FC_{\text{máx}}$ (+8%; $p < 0.05$). En general, el importante tamaño del efecto obtenido al comparar el comportamiento de todas estas variables induce a pensar que existe un distinto desempeño físico en los segundos períodos. Una de las grandes incógnitas que se plantean es si este descenso es consecuencia de la pérdida de rendimiento físico de los futbolistas o su origen se debe a un defecto de condición física del propio árbitro. Se ha comprobado que futbolistas de alto nivel recorren entre 10 y 12 km durante los partidos, con una 22% de la distancia total recorrida a una elevada intensidad (15 km/h) (Mohr *et al.*, 2003). Estas exigencias cinemáticas guardan bastante similitud con las experimentadas por los árbitros de la presente investigación, aunque de modo general, los futbolistas de alto nivel tienen unos niveles de condición física superiores a los de los árbitros (Casajús, 2001; Castagna y D'Ottavio, 2001; Krustup y Bangsbo, 2001; Kemi *et al.*, 2003). El descenso de la cantidad de ejercicio de alta intensidad en los segundos 45 min corrobora las conclusiones previas obtenidas con futbolistas por Mohr *et al.* (2003) que observaron cómo los jugadores que entraban como suplentes en los partidos recorrían un 25% más de distancia a una alta intensidad en los últimos 15 min de los partidos y sprintaban un 63% más de distancia que los jugadores que no eran reemplazados. El árbitro, por el contrario, no puede ser sustituido en el transcurso de un partido debiendo mantener su rendimiento a lo largo del encuentro independientemente del ritmo impuesto por los jugadores (Catterall *et al.*, 1993).

La disminución del 18% ($p < 0.001$) en el volumen de los desplazamientos de espalda por parte de los árbitros complementa la idea del desarrollo de fatiga, al haberse demostrado que la carrera de espalda comporta un mayor gasto energético que la carrera de frente (Reilly y Bowen, 1984). La reducción de este tipo de desplazamientos presentaría el objetivo de economizar energía para llegar a un estado óptimo a los instantes finales del partido. Otra variable que refuerza la teoría de la generación de fatiga por parte de los árbitros es el aumento de la distancia media al lugar de señalización de las infracciones en la zona de ataque izquierda del primer al segundo tiempo. Previamente Krustup y Bangsbo (2001) habían constatado el mismo fenómeno con una distinta distribución espacial del campo. En el trabajo actual para eliminar la influencia del árbitro asistente se dividió la zona de ataque en dos zonas y se pudo comprobar cómo la diferencia aumentaba únicamente en la zona de ataque izquierda, es decir, aquella en la cual no había una influencia operativa del árbitro asistente. Las causas fisiológicas que determinan el empeoramiento del rendimiento físico en el segundo período de los partidos pueden ser variadas aunque Mohr *et al.* (2005) sugieren que podría estar ligado a la depleción de glucógeno en las fibras musculares individuales.

Una vez determinados los momentos de los partidos en los cuales el árbitro pueden ver comprometido su desempeño físico los programas de entrenamiento deberían ir enfocados a prevenirlos. De este modo dos de los objetivos prioritarios del entrenamiento de los árbitros sería mejorar la habilidad para realizar ejercicio máximo de manera repetida y la capacidad para producir ejercicio intermitente de alta intensidad y larga duración. Diversos programas de entrenamiento se han mostrado efectivos para la mejora del rendimiento físico de los árbitros (Krustrup y Bangsbo, 2001; Weston *et al.*, 2004) y futbolistas (Helgerud *et al.*, 2001; Dupont *et al.*, 2004; Hoff, 2005). En cualquier caso, se requiere de más estudios experimentales sobre el efecto de distintos tipos de entrenamiento sobre el rendimiento físico del árbitro de fútbol.

CONCLUSIONES

Los datos obtenidos en el presente estudio revelan como los árbitros utilizan plenamente su capacidad física a lo largo del partido y pueden ver disminuido su rendimiento físico en tres momentos distintos: tras un período de ejercicio intenso, en el inicio del segundo tiempo y en el tramo final de los encuentros. El conocimiento de los mecanismos que inciden en el empeoramiento del rendimiento físico debe favorecer la prescripción de entrenamientos que lleven a un retardo o prevención del desarrollo del mismo durante los encuentros.

REFERENCIAS

- ABDEL-AZIZ, Y.I. y KARARA, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into space coordinates in close range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on close range photogrammetry* (pp.1-18). The American Society of Photogrammetry: Falls Church:
- ASAMI, T., TOGARI, H. y OHASHI, J. (1988). Analysis of movement patterns of referees during soccer matches. En T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W.J. Murphy (editores), *Science and Football* (pp. 341-345). E & FN Spon: Londres.
- BANGSBO, J. (1994). The physiology of soccer – with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 151, suppl. 619, 1-134.
- BANGSBO, J., NORREGAARD, L. y THORSO, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sports Science*, 16, 110-116.
- BRODIE, D.A. (1981). *A movement analysis of association football referees*. The Football League: Londres.
- CASAJÚS, J.A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41, 463-469.
- CASTAGNA, C. y ABT, G. (2003). Intermatch variation of match activity in elite Italian soccer referees. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 388-392.

- CASTAGNA C., y D'OTTAVIO, S. (2001). Effect of maximal aerobic power on match performance in elite soccer referees. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 420-425.
- CASTAGNA, C., ABT, G. y D'OTTAVIO, S. (2004). Activity profile of international-level soccer referees during competitive matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 486-490.
- CATTERALL, C., REILLY, T., ATKINSON, G. y GOLDEWELLS, A. (1993). Analysis of work rates and heart rates of association football referees. *British Journal of Sports Medicine*, 27, 193-196.
- D'OTTAVIO, S. y CASTAGNA, C. (2001a). Analysis of match activities in elite soccer referees during actual match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 167-171.
- D'OTTAVIO, S. y CASTAGNA, C. (2001b). Physiological load imposed on elite soccer referees during actual match play. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41, 27-32.
- DUPONT, G., AKAKPO, K. y BERTHOIN, S. (2004). The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 584-589.
- EKBLOM, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine*, 3, 50-60.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, B. y TERRADOS, N. (2004). *La fatiga del deportista*. Gymnos: Madrid.
- HARLEY, R.A., TOZER, K. y DOUST, J. (2001). An analysis of movement patterns and physiological strain in relation to optimal positioning of association football referees. En W. Spinks, T. Reilly y A. Murphy (editores), *Science and Football IV* (pp. 137-143). Routledge: Londres.
- HELGERUD, J., ENGEN, L.C., WISLOFF, U. y HOFF, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1925-1931.
- HELSEN, W.F. y BULTYNCK, J.B. (2004). Physical and perceptual-cognitive demands of top-class refereeing in association football. *Journal of Sports Sciences*, 22, 179-189.
- HOFF, J. (2005). Training and testing physical capacity for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23, 573-582.
- JOHNSTON, L. y McNAUGHTON, L. (1994). The physiological requirements of soccer refereeing. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 26, 67-72.
- KEMI, O.J., HOFF, J., ENGEN, L.C., HELGERUD, J. y WISLOFF, U. (2003). Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 139-144.
- KRUSTRUP, P. y BANGSBO, J. (2001). Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *Journal of Sports Sciences*, 19, 881-891.
- KRUSTRUP, P., MOHR, M. y BANGSBO, J. (2002). Activity profile and physiological demands of top-class soccer assistant refereeing in relation to training status. *Journal of Sports Sciences*, 20, 861-871.
- MALLO, J. (2006). *Análisis del rendimiento físico de los árbitros y árbitros asistentes durante la competición en el fútbol*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad Politécnica de Madrid.
- MALLO, J. y NAVARRO, E. (2004). Analysis of the load imposed on under-19 soccer players during some typical football training drills. *Journal of Sports Sciences*, 22, 510-511.

- MALLO, J., GARCÍA-ARANDA, J.M. y NAVARRO, E. (2004). Optimización del rendimiento de los árbitros de fútbol con ayuda del análisis biomecánico. *Biomecánica*, 12, 97-103
- MOHR, M., KRUSTRUP, P. y BANGSBO, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21, 519-528.
- MOHR, M., KRUSTRUP, P., NYBO, L., NIELSEN, J.J. y BANGSBO, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches – beneficial effect of re-warm-up at half time. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14, 156-162.
- MOHR, M., KRUSTRUP, P. y BANGSBO, O. J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23, 593-599.
- REBELO, A.N., KRUSTRUP, P., SOARES, J. y BANGSBO, J. (1998). Reduction in intense intermittent exercise performance during a soccer match. *Journal of Sports Sciences*, 16, 482-483.
- REILLY, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 15, 257-263.
- REILLY, T. y BOWEN, T. (1984). Exertional costs of changes in directional modes of running. *Perceptual and Motor Skills*, 58, 149-150.
- THOMAS J.R. y NELSON, J.K. (2001). *Research methods in physical activity*. Human Kinetics: Champaign, Illinois.
- WESTON, M., HELSEN, W.F., MacMAHON, C. y KIRKENDALL, D.T. (2004). The impact of specific high intensity training sessions upon football referees' fitness levels. *American Journal of Sports Medicine*, 32S, 54-61.
- WOLTRING, H.J. (1985). On optimal smoothing and derivate estimation from noisy displacement data in biomechanics. *Human Movement Sciences*, 4, 229-245.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido llevado a cabo gracias al apoyo logístico y económico proporcionado por la Comisión de Arbitraje de la Federación Internacional de Fútbol Asociado.

