

Material de Especialización



# Fisiología de los Esfuerzos Intermitentes y Prolongados de Alta Intensidad. Énfasis en Deportes de Conjunto

Gustavo Metral

## INTRODUCCION

En los deportes de equipo los jugadores realizan un cambio en su actividad cada 2 - 5 segundos (Mohr et al. 2003; Krustup y Bangsbo, 2001; Spencer et al., 2004, McInnes et al., 1995), con variaciones en la intensidad de ejercicio que van desde estar de pie hasta realizar una carrera a velocidad máxima. Estas características distan mucho de la realidad de los deportes cíclicos en dónde la intensidad del trabajo es más estable y no hay variación en la ejecución de los gestos deportivos durante la competencia. Como consecuencia de esto, el estudio de las demandas fisiológicas de los deportes de conjunto es más complejo de abordar.

Las demandas fisiológicas de los deportes de equipo están determinadas por las intensidades a la cual son realizadas las diferentes actividades durante un partido (Reilly, 2003). En este escenario, el motion analysis se constituye en una herramienta clave para abordar esta problemática, ya que analiza el movimiento de los deportistas durante la competencia, con el objeto de cuantificar su tasa de trabajo e interpretar las consecuencias fisiológicas que promueven estos deportes (Carling et al. 2005; citado por Antivero, 2007).

Un mayor conocimiento de esta información permitirá entender cuales son los factores fisiológicos limitantes de la capacidad de rendimiento en los deportes de equipo, lo cual se constituye en una condición importante para el desarrollo de un correcto programa de entrenamiento físico. Por estos motivos serán abordados en el presente manuscrito

los siguientes tópicos: características de la tasa de esfuerzo en diferentes deportes de conjunto, respuestas fisiológicas al ejercicio intermitente y prolongado de alta intensidad, y etiología de la fatiga durante la competencia en los deportes de equipo.

## CARACTERISTICAS GENERALES DE LA TASA DE ESFUERZO EN DIFERENTES DEPORTES DE CONJUNTO

La tasa de esfuerzo de los jugadores puede indicarse globalmente por la distancia total cubierta durante el juego mediante el motion analysis. La distancia total cubierta es representativa de la intensidad general del ejercicio (Reilly, 2003). Además de valorar la distancia total recorrida durante un juego, el motion analysis permite clasificar las acciones realizadas en base a: la intensidad, el volumen (duración en minutos, o distancia), y la frecuencia. Mediante este procedimiento se puede subdividir la distancia total recorrida en un partido en diferentes velocidades de carrera. Las actividades también pueden ser juxtapuestas en base al tiempo para estimar cocientes trabajo/pausa, estos cocientes pueden posteriormente ser utilizados en estudios diseñados para analizar las demandas fisiológicas del juego (Sirotic & Coutts, 2007).

En la Tabla 1 se presenta una síntesis en la que se resumen datos que muestran los requerimientos de varios deportes de equipo, que requieren ejercicio intermitente y prolongado de alta intensidad. Lo primero que puede observarse es que para los deportes de campo grande como el fútbol y el hockey

sobre césped, la distancia total recorrida varía entre 8 y 12 km, con la excepción del rugby. En este deporte la menor distancia recorrida se debe en parte a las interrupciones que sufre el partido reduciendo el tiempo neto de juego a 26-29 minutos (Menchinelli et al. 1992; MacLean, 1993), a pesar de los 80 minutos que marca el reglamento. Por otro lado, en los deportes que se practican en campo pequeño como son los casos del básquetbol, fútbol sala, y el handbol las distancias recorridas varían habitualmente entre 3 y 6 km (Antivero, 2007).

El cambio de actividad producido entre cada 2 y 5 segundos (ver Tabla 1) en estos deportes representa

la naturaleza acíclica de los deportes de conjunto. La duración de cada sprint es de aproximadamente 2 segundos, lo cual constituye una distancia recorrida que varía entre 150 y 600 metros mediante el uso de la velocidad máxima o cercana a la máxima, dependiendo del deporte que se practique (ver Tabla 1). Puede observarse una tendencia en la Tabla 1 que demuestra que a mayor nivel competitivo los deportistas invierten más tiempo del partido corriendo en velocidad de sprint o a velocidad de carrera elevada, esto es lógico ya que estos deportistas están usualmente mejor entrenados, y el juego es practicado a mayor intensidad a medida que se incrementa el nivel competitivo.

Autor	Deporte	Nº de Sujetos	Nº de partidos Analizados	Nivel de los Deportistas	Alta Intensidad (Km)	Sprint (Km)	Duración promedio del Sprint (seg)	Cambios de Actividad	Tiempo Prom. Para cambio de actividad	Distancia Recorrida (Km)
Krustrup y Bangsbo (2001)	Árbitros de Fútbol	27	43	Elite	1,067 ± 0,08	0,15 ± 0,02	---	---	---	10,07 ± 0,13
Mohr et al (2003)	Fútbol	18	7	18 profesionales de alto nivel	2,43 ± 0,14	0,65 ± 0,06	2,00 ± 0,00	1346 ± 34	3,5 ± 0,1	10,86 ± 0,26
Mohr et al (2003)	Fútbol	24	7	Profesionales de moderado nivel	1,90 ± 0,12	0,41 ± 0,03	1,90 ± 0,00	1297 ± 27	3,6 ± 0,1	10,33 ± 0,26
Spencer et al (2004)	Hockey sobre Césped	14	1	Internacional	---	---	1,8 ± 0,4	780	5,5	---
Antivero (2007)	Hockey sobre Césped	1	1	Internacional Juvenil	1,9	0,12	---	---	---	8,9
Antivero (2007)	Hockey sobre Césped (femenino)	6	1	Internacional	1,27 ± 0,1	---	---	---	---	7,36 ± 0,17
Williams (1976) citado por Reilly (1999)	Rugby	---	---	---	---	---	---	---	---	4,25
McInnes (1995)	Basquetbol	8		Liga Nacional Australiana	---	---	1,7	997	2	---
Antivero (2007)	Basquetbol	1	1	Profesional Segunda División	0,71	---	---	---	---	4,094
Pers et al (2002)	Handball	6	1	---	1,67	---	---	---	---	4,8
Antivero (2007)	Fútbol Sala	1	1	---	1,56	---	---	---	---	6,0

**Tabla 1.** Síntesis General de la tasa de esfuerzo de varios deportes que implican ejercicio intermitente y prolongado de alta intensidad.

## RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO INTERMITENTE Y PROLONGADO DE ALTA INTENSIDAD

### Sistemas Energéticos

Para cualquier protocolo de actividad física los tres sistemas de energía producen la resíntesis de ATP de manera conjunta, no obstante en función del tiempo e intensidad del ejercicio siempre habrá un sistema que predomine en la liberación energética. Para el ejercicio de tipo continuo la predominancia en la resíntesis de ATP por parte de un sistema de energía sigue un orden bien definido a medida que el ejercicio progresa en el tiempo. Este orden va desde los sistemas de mayor potencia y menor capacidad en la resíntesis de ATP, hacia los de mayor capacidad y menor potencia; es decir: fosfágenos, glucolítico y aerobio. Sin embargo, para el ejercicio de características intermitentes el modelo de alternancia en el predominio de la resíntesis de ATP planteado por el continuum energético no sigue ese orden característico. En el ejercicio intermitente y prolongado de alta intensidad representativo de los deportes de equipo, el orden de predominio de los sistemas de resíntesis de ATP es aleatorio ya que depende de las demandas físicas que plantea el juego, las cuales cambian constantemente. En este escenario, la importancia relativa que cada sistema de energía posee sobre el rendimiento físico en estos deportes puede abordarse mediante el estudio de la

variación de las respuestas fisiológicas producidas durante el juego, y como fuera mencionado mediante el análisis de la tasa de esfuerzo obtenida a partir del motion analysis.

### Sistema Aerobio

El sistema aeróbico es cuantitativamente el más importante en la resíntesis de ATP durante los partidos, ya que entre el 93 y el 98% del tiempo total de un partido los jugadores lo pasan realizando actividades de baja intensidad, las cuales implican estar parados, caminar y carreras a una velocidad menor a los  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (Drust, 1995; Bangsbo, 1994b; McInnes et al., 1995).

Los estudios que han analizado el comportamiento de la frecuencia cardiaca durante diversos deportes de equipo muestran que en la mayoría de ellos se “juega” a una frecuencia cardiaca de entre el 75-85% de la FC máxima con niveles típicos, dependiendo de la edad del atleta, de entre 160 y 180 latidos por minuto (Abdelkrim et al., 2007; McInnes et al., 1995; Bangsbo, 1994b; Coutts et al., 2003). No obstante, es interesante resaltar que muchos atletas alcanzan su máxima frecuencia cardiaca durante la competencia, y como se ha mencionado hay períodos de alta y baja intensidad durante los partidos, lo cual genera que la FC siga un comportamiento inconsistente a lo largo del juego (Figura 1).

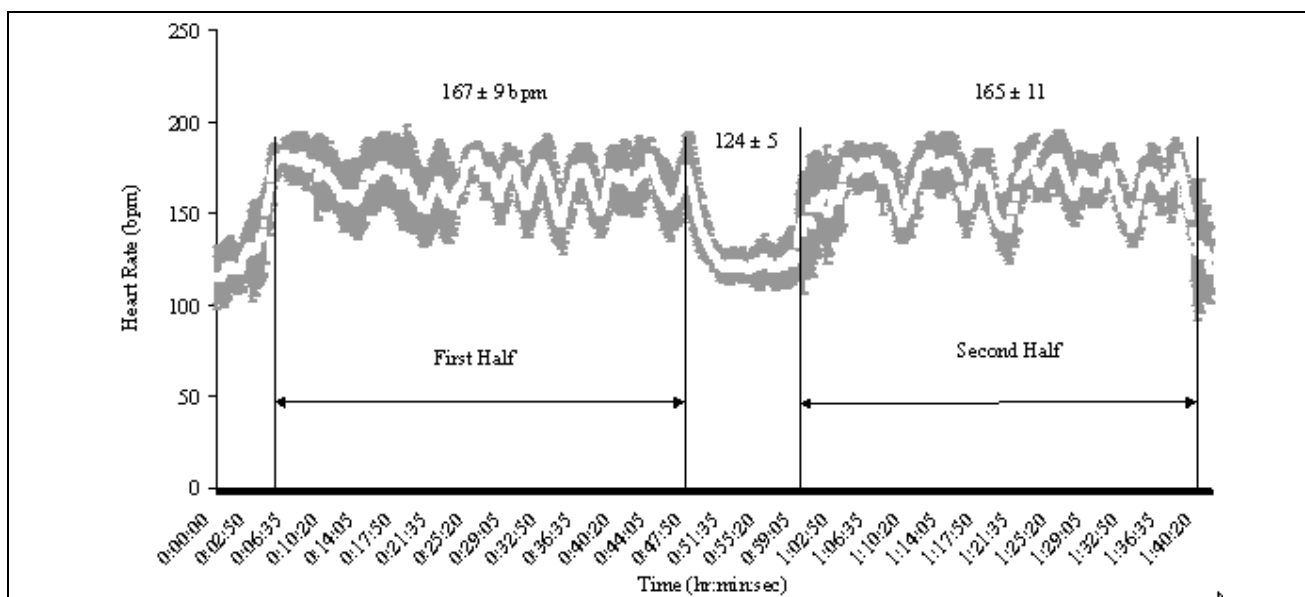


Figura 1. Variación de la frecuencia cardiaca durante un partido de rugby. Datos tomados a partir de Coutts et al., 2003.

La importancia del sistema aerobio en el rendimiento de los deportes de conjunto ha sido demostrada mediante diversos estudios. Algunos trabajos transversales han demostrado una relación positiva

entre el nivel de acondicionamiento aeróbico y el rendimiento físico durante los partidos de fútbol. Thomas & Reilly (1979) reportó que los futbolistas con mayor nivel de  $\text{VO}_2\text{máx}$ , son los que demuestran

las tasas de esfuerzos más elevadas durante los partidos. Reilly (1994) sostiene que al enfrentarse dos equipos de habilidades técnicas y tácticas similares, el equipo con un mayor consumo máximo de oxígeno promedio será el que tenga mayores chances de triunfo. Esta aseveración es sostenida por un trabajo de Apor (1988), quien reportó que la posición final de los equipos en el Campeonato Húngaro de Fútbol de Primera División se relacionó con el  $VO_{2\text{máx}}$  promedio de los equipos (Tabla 2). En concordancia con estos datos, Wisløff et al. (1998) demostraron una diferencia significativa en el  $VO_{2\text{máx}}$  entre los mejores y peores equipos en la división de elite Noruega de Fútbol.

Más allá de estos datos provenientes de estudios transversales que demuestran una relación positiva entre el nivel de acondicionamiento aeróbico y el rendimiento en el fútbol, Helgerud et al. (2001) demostraron en un estudio longitudinal que el incremento en el  $VO_{2\text{máx}}$  logrado como consecuencia de sólo 8 semanas de entrenamiento fue suficiente para mejorar algunas características del rendimiento durante los partidos como: la distancia total cubierta, la distancia recorrida a alta intensidad, el número de sprints y el número de contactos de un jugador con el balón.

Posición Final en el Campeonato	Máximo Consumo de Oxígeno
1 <sup>ro</sup>	66,6 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
2 <sup>do</sup>	64,3 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
3 <sup>ro</sup>	63,3 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
5 <sup>to</sup>	58,1 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>

**Tabla 2.** Relación entre el  $VO_{2\text{máx}}$  relativo y la posición final en el Campeonato Húngaro de Fútbol. Tomado de Apor (1988).

### Sistemas Anaeróbicos

En los deportes de dinámica intermitente la capacidad de realizar ejercicios repetidos de alta intensidad parece ser un requisito más específico para el rendimiento de los jugadores que la capacidad de producir un solo esfuerzo de alta intensidad de corta o moderada duración. Se puede obtener buena información de las características anaeróbicas de un juego mediante la observación del número de sprints realizados durante un partido. De esta manera DiSalvo et al. (2006), demostraron que existen aproximadamente 19 sprints de dos segundos en el fútbol. Sin embargo, existen otras actividades en los deportes de equipo como los takcles, las aceleraciones, desaceleraciones, y habilidades técnicas que también demandan esfuerzos de alta intensidad, y por ello una elevada resíntesis de ATP en unidad de tiempo. Se ha postulado que

aproximadamente se requieren 7 minutos de trabajo de alta intensidad en el fútbol (Bangsbo et al., 1991) y que este tiempo también es muy similar al que se ha reportado en otros deportes de equipo.

Principalmente dependiendo de la duración y frecuencia de los ejercicios realizados a máxima intensidad, se puede definir un perfil en cuanto a la resíntesis anaeróbica de ATP para cada deporte de dinámica intermitente. Las bajas concentraciones de lactato sanguíneo durante partidos competitivos de voleibol y tenis (2-3 mmol/L) indican que la energía anaeróbica durante los breves períodos de trabajo (2-8 segundos) proviene principalmente de la ruptura de fosfocreatina (PCr), mientras que durante las pausas entre cada punto (15-20 seg) el sistema aeróbico se encarga de promover la suficiente resíntesis de este sustrato como para que el sistema de los fosfágenos vuelva a predominar en la resíntesis anaeróbica de ATP en el próximo punto (Christmass et al., 1998; Smekal et al., 2001; Künstlinger et al., 1987).

En otros deportes intermitentes la dinámica del juego cambia, lo cual demandará de manera diferente a los sistemas anaeróbicos de resíntesis de ATP. La producción de energía anaeróbica láctica se vuelve más importante usualmente en el fútbol (lactato: 6-10 mmol/L, excepcionalmente llegando a valores de 16 mmol/L; Bangsbo, 1994b), baloncesto (lactato: 6-9 mmol/L, McInnes et al., 1995), rugby (lactato: 6-12 mmol/L, Menchenelli et al., 1992) y handball (lactato: 4-9 mmol/L, Delamarche et al., 1987), principalmente debido al menor período de recuperación existente entre esfuerzos de alta intensidad, lo cual limitará la resíntesis de fosfocreatina en el período de pausa por parte del sistema aerobio. De esta manera, una menor concentración de fosfocreatina en el músculo esquelético previo a la contracción muscular de alta intensidad será una condición que maximizará la intervención del sistema anaeróbico láctico en la resíntesis de ATP. Estos hallazgos sugieren que en estos deportes los ejercicios de alta intensidad durante un partido están sostenidos por una elevada liberación de energía anaeróbica y que éstos usualmente se realizan en condiciones de una recuperación incompleta.

Ekblom (1986) demostró que los niveles más altos de lactato son producidos en los niveles más altos de competición, mientras que a menores niveles competitivos la concentración hemática de lactato tiende a ser menor (Tabla 3). Esto es lógico ya que se ha demostrado que cuanto mayor sea el nivel competitivo de los jugadores mayor es el ejercicio

realizado a alta intensidad, y por ello estos jugadores producen más lactato durante la competencia.

Si bien para la mayoría de los deportes de dinámica intermitente el ejercicio cuantitativamente más importante es el de baja intensidad, el tiempo invertido en las acciones de alta intensidad, en posesión o no del balón, es de crucial importancia para el juego, ya que las acciones que más afectan al resultado final de un partido son las que se realizan a alta intensidad (Bangsbo, 1994b; Reilly, 2003). Esto es así ya que las acciones críticas de un partido, en las que los goles son convertidos o evitados, dependen de manera casi exclusiva del ejercicio realizado a alta intensidad. Por tanto los sistemas anaeróbicos de resíntesis de ATP poseen una importancia cualitativa especial en el rendimiento durante los juegos deportivos de dinámica intermitente. Es muy importante entonces, que los deportistas puedan repetir la mayor cantidad de gestos técnicos y desplazamientos a una elevada tasa de esfuerzo durante todo el juego.

## Metabolismo

### Concentración de Lactato

Uno de los problemas en cuanto a la cuantificación de lactato durante la competencia en deportes de dinámica intermitente se relaciona con que la extracción de sangre sólo se puede hacer antes del inicio del partido, al terminar el primer el tiempo y al finalizar los mismos. No obstante, existen ciertos parámetros de información que por su alta coherencia son útiles para caracterizar de forma global la actividad glucolítica en los deportes de equipo. Tal vez el parámetro más consistente reportado por diversos estudios se relaciona con que la

concentración de lactato sanguíneo al finalizar el primer y segundo tiempo sigue el mismo comportamiento en todos los estudios y en diferentes deportes. Concretamente lo que las investigaciones nos han demostrado es que la concentración de lactato es superior al finalizar el primer tiempo en comparación con el segundo tiempo (Figura 2 y Tabla 3). La menor concentración de lactato en el segundo tiempo de los partidos puede deberse a los siguientes factores:

- la menor tasa de esfuerzo realizada durante el segundo tiempo (Ver características de la fatiga en deportes intermitentes y prologados de alta intensidad),
- es factible que una disminución en la concentración de glucógeno muscular en el segundo tiempo de los partidos atenúe la glucólisis y la producción de lactato durante esa etapa,
- es posible que el incremento de la hormona STH que se eleva después de los 35 minutos de actividad física (Wilmore y Costill, 1998) produzca una disminución en la utilización de glucógeno y un aumento en la oxidación de ácidos grasos, y
- se ha demostrado que en el ejercicio intermitente de larga duración como se produce un incremento en la concentración de citrato citoplasmático proveniente del ciclo de Krebs (Essén, 1978). El incremento en la concentración de citrato puede inhibir a la enzima PFK retardando la glucólisis y la producción de lactato.

Alguno de estos factores o la conjunción de varios de ellos pueden ser los responsables de la progresiva disminución en la concentración de lactato sanguíneo y de la tasa glucolítica a medida que el juego avanza.

Estudio	Deporte	Competencia	Concentración de Lactato Primera Mitad	Concentración de Lactato Segunda Mitad
Smaros 1980	Fútbol	Segunda División de Finlandia	4,9	4,1
Ekblom, (1986)	Fútbol	Primera División Suecia	9,5	7,2
		Segunda División Suecia	8	6,6
		Tercera División Suecia	5,5	4,2
		Cuarta División Suecia	4	3,9
Gerish y Cols (1988)	Fútbol	Liga Amateur Mayor de Alemania	5,6	4,7
Abdelkrim et al (2007)	Basquetbol	Liga Juvenil de Básquetbol de Túnez	6,2	5,0
Coutts et al (2003)	Rugby	Liga semi-profesional de Rugby de Australia	8,4	5,9
Ghosh et al (1991)	Hockey sobre césped	Liga India de Hockey sobre césped	7,7	5,6

**Tabla 3.** Concentración de lactato sanguíneo en  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ .

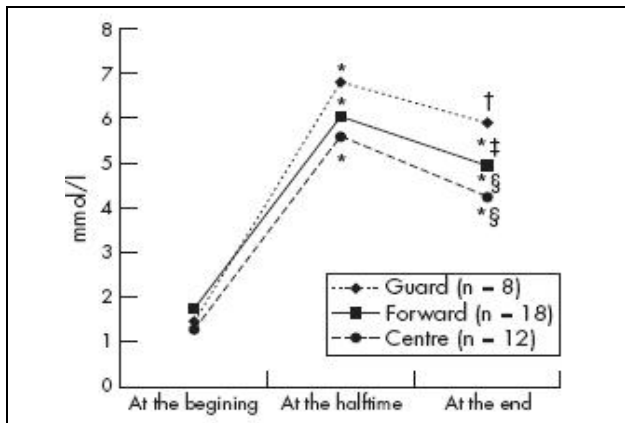


Figura 2. Concentración de lactato plasmático en jugadores de básquetbol de diferentes puestos, al principio, en el entre-tiempo y al final de los partidos.

### Concentración de Glucógeno

El ejercicio intermitente constituye un método efectivo para producir depleción de las reservas de glucógeno y acelerar la aparición de la fatiga. Muestra de lo anteriormente mencionado se observa en el siguiente gráfico (Figura 3) que analiza el patrón de la tasa de degradación de glucógeno durante el primer y segundo tiempo de un partido de Fútbol.

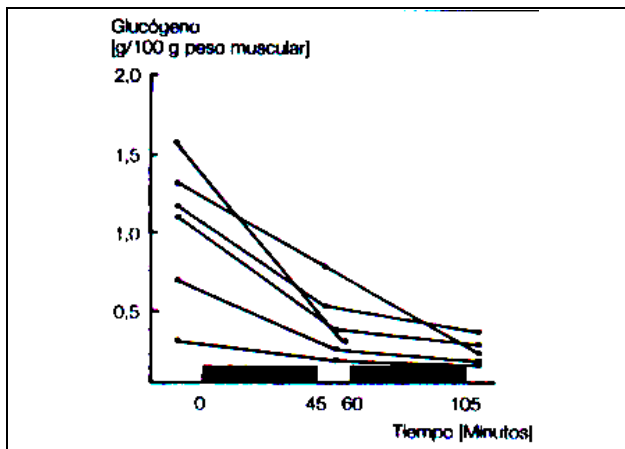


Figura 3. Concentración de glucógeno muscular antes, durante el entre-tiempo y al finalizar un partido de fútbol. Tomado de Ekblom (1986).

Puede observarse como al finalizar el primer tiempo, los niveles de glucógeno se encuentran muy reducidos. Esto constituye una gran desventaja para el comienzo del segundo tiempo, ya que la tasa a la que podrán ser repetidos los esfuerzos de alta intensidad, se verá notablemente disminuida si la concentración de glucógeno en el músculo esquelético es baja. Ekblom (1986) reportó que durante un partido de fútbol los jugadores que poseían reservas de glucógeno reducidas durante el segundo tiempo manifestaron una velocidad

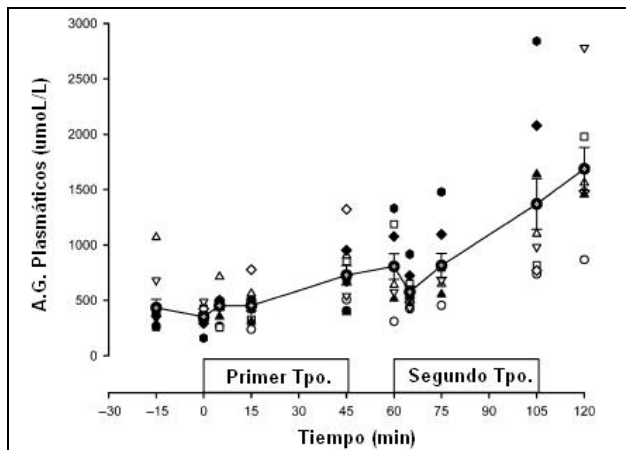
promedio disminuida y cubrieron una menor distancia que los sujetos que contenían las reservas normales de glucógeno. Kirkendall (1988), reportó que jugadores de fútbol a los que les suministraban una bebida con glucosa con el objeto de restituir las reservas de glucógeno, podían cubrir una distancia un 25% superior comparativamente con el grupo que ingería una bebida placebo. Es necesario por tanto, asegurarse de restituir carbohidratos durante el ejercicio para evitar la inminente caída de glucógeno muscular, y de este modo mantener por más tiempo la reserva de glucógeno durante la segunda mitad del juego.

Debido a la similitud existente respecto a la distancia recorrida y a la tasa de esfuerzo entre el fútbol, el hockey, fútbol gaélico y fútbol australiano podríamos asumir a priori, que durante los partidos competitivos de éstos deportes la tasa de utilización de carbohidratos también podría limitar el rendimiento físico. No obstante, en el resto de los deportes de dinámica intermitente como el baloncesto, fútbol sala, handball y rugby; en los que se recorre prácticamente la mitad de la distancia total y de la distancia a alta intensidad respecto a los deportes mencionados con anterioridad (Antivero, 2007), es poco probable que la disminución en la concentración carbohidratos producida por el partido limite el rendimiento físico durante el juego. En concordancia con esto Reilly (1999), reportó que los depósitos de glucógeno muscular no se agotan al final de un partido de Rugby, lo cual concuerda con una tasa de trabajo relativamente baja en este deporte si es comparado con el fútbol, hockey, y fútbol gaélico y australiano.

### Utilización de Ácidos Grasos

Bangsbo (1994b) reportó que durante el segundo tiempo de los partidos de fútbol se produce una elevación en la concentración de ácidos grasos libres y de glicerol, estos datos concuerdan con los presentados por Krustrup et al. (2006) mostrados en la Figura 4. Es aparente que durante la segunda etapa de los partidos en donde hay más períodos de pausa y de ejercicio de baja intensidad, se pueda aumentar la irrigación sanguínea hacia el tejido adiposo maximizando las posibilidades de lipólisis. Además es creído que el lactato aumenta la re-esterificación de los ácidos grasos atrapando a éstos en el tejido adiposo (Jeukendrup et al., 1998). Como se documentó anteriormente la concentración de lactato sanguíneo durante el segundo tiempo de los partidos es disminuida, por tanto se aumentan las posibilidades de que los ácidos grasos puedan ser liberados desde el interior del adiposito hacia la sangre. Estos factores

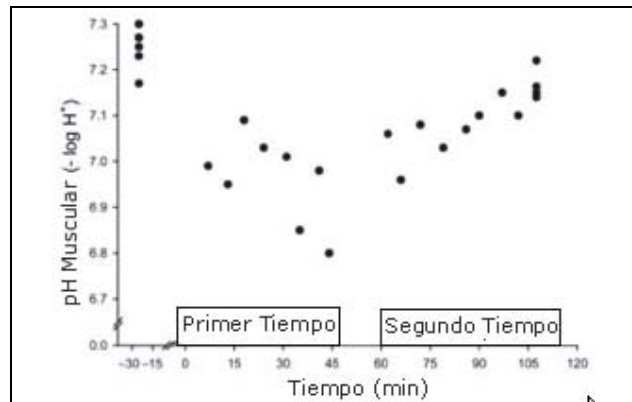
junto a una mayor secreción de catecolaminas (Bangsbo, 1994b) y posiblemente de STH que generalmente ocurre después de los 35 minutos de ejercicio (Wilmore y Costill, 1998) serían los responsables del aumento en la lipólisis. Debido a que la tasa de utilización de glucógeno durante el segundo período de los partidos disminuye cerca de tres veces (Saltin, 1973), es factible que el aumento de la lipólisis en el tejido adiposo tenga por función elevar la oxidación de ácidos grasos durante la segunda parte de los partidos.



**Figura 4.** Concentración de ácidos grasos libres durante la entrada en calor, primer y segundo tiempo de un partido de Fútbol. Tomado de Krstrup et al., (2006).

#### Acidez Muscular y Concentración de Fosfocreatina

Krstrup et al (2006), reportaron que la concentración de fosfocreatina luego de un período intenso de ejercicio durante un partido de fútbol fue menor en el segundo tiempo en comparación al primero, las concentraciones fueron de  $67,0 \pm 3$  mmol·kg<sup>-1</sup>ms y  $76,3 \pm 3$  mmol·kg<sup>-1</sup>ms, respectivamente. Estos autores también reportaron que el pH muscular durante el segundo tiempo fue más elevado en comparación al primer tiempo (Figura 5). La menor concentración de fosfocreatina y la menor acidez muscular producida durante el segundo tiempo del partido es coincidente con la disminución del ejercicio desarrollado a alta intensidad durante el segundo tiempo de los partidos reportados por otros trabajos (Van Gool 1983, Drust et al., 1995; Bangsbo, 1991; Mohr et al., 2003).



**Figura 5.** Variación en el pH muscular durante el primer y segundo tiempo. Datos tomados a partir de Krstrup et al (2006).

### CARACTERÍSTICAS DE LA FATIGA DURANTE EL EJERCICIO INTERMITENTE Y PROLONGADO DE ALTA INTENSIDAD

Debido a que el fútbol es el deporte de equipo sobre el que se centra un mayor cúmulo de investigaciones científicas, nos basaremos principalmente en este deporte a la hora de analizar las características de la fatiga durante el ejercicio intermitente y prolongado de alta intensidad. Definiremos a la fatiga como a la imposibilidad de mantener una determinada tasa de trabajo muscular. Desde un punto de vista objetivo la fatiga puede medirse durante la competencia en los deportes de equipo mediante la utilización del motion analysis. Concretamente lo que se hace es identificar en que momentos del partido puede ocurrir una disminución en la tasa de esfuerzo, para posteriormente intentar identificar cuales fueron las causas fisiológicas que produjeron esta pérdida de rendimiento físico durante el juego.

Van Gool (1983) y Drust et al. (1995), reportaron una menor distancia recorrida en el segundo tiempo comparado con el primero, del 6 y del 5% respectivamente. Bangsbo et al. (1991) también reportaron una disminución en la distancia recorrida del 5% durante el segundo tiempo de un partido, no obstante al analizar estos datos en períodos fraccionados de 5 minutos, Bangsbo y cols. (1991) demostraron que la mayor disminución en la distancia recorrida sucedió en los primeros y en los últimos 15 minutos del segundo tiempo (Figura 6). De acuerdo con estos datos Mohr et al. (2003) comunicaron que la cantidad de ejercicio de alta intensidad realizado durante los últimos 15 minutos del partido estuvieron reducidas en un rango del 35-45% ( $p < 0,005$ ) en comparación con el resto del juego, en futbolistas de diferente nivel competitivo como también en futbolistas de diferentes puestos en

el campo de juego. Mohr et al. (2003) también reportaron que durante los 5 minutos posteriores al ejercicio de más alta intensidad ejecutado durante un partido, la tasa de esfuerzo estuvo disminuida en comparación con la tasa de esfuerzo promedio de todo el partido. En función de estos datos, Mohr, Krustup y Bangsbo (2005), propusieron que durante un partido existen tres ocasiones concretas en las cuales se puede manifestar la fatiga: a) durante los

primeros 15 minutos de la segunda etapa, b) después del ejercicio ejecutado a alta intensidad en cualquier momento del partido, y c) durante los últimos 15 minutos de la segunda etapa. A continuación, y siguiendo a los autores mencionados, se presentará una breve discusión acerca de los posibles factores fisiológicos responsables de la producción de fatiga en el fútbol para cada una de las etapas mencionadas.

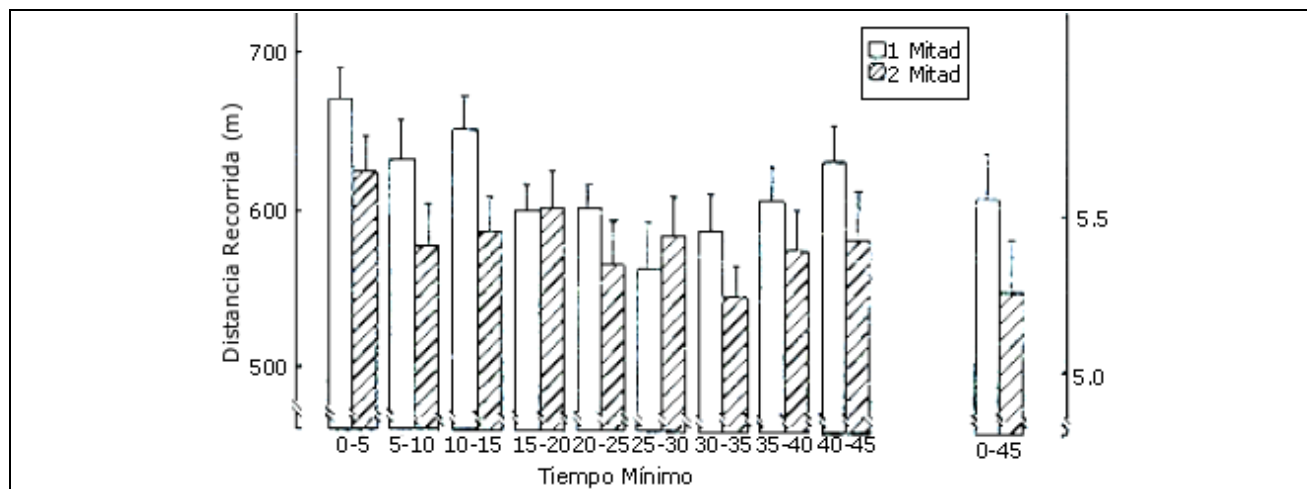


Figura 6. Distancia cubierta durante 9 períodos subsiguientes del primer (barras lisas) y segundo (barras rayadas) tiempo de los partidos de la Liga Danesa de Fútbol Masculino. Datos presentados como promedios  $\pm$  Desvíos Estándar.

### Fatiga durante los primeros 15 minutos del segundo tiempo

La mayor tasa de esfuerzo reportada en los primeros 15 minutos de la primera etapa respecto al mismo período de tiempo de la segunda etapa podría ser explicada por una mayor motivación de los sujetos al inicio del partido y por el efecto previo de la actividad pre-competitiva sobre la temperatura corporal que podría incrementar el rendimiento al inicio del primer tiempo. Es por ello que Bangsbo (1994b) recomienda cambiar el modelo del período de descanso durante los entretiempos de los partidos ya que los jugadores podrían beneficiarse de la ejercitación realizada a baja intensidad. Esto permitiría mantener elevada la temperatura corporal al inicio del segundo tiempo evitando de esta manera una posible caída del rendimiento.

### Fatiga ocasionada luego del ejercicio de alta intensidad

Se ha propuesto que la fatiga luego del ejercicio de alta intensidad puede ser promovida por el incremento en la concentración de lactato, la disminución en el pH (Sahlin, 1992), la disminución en la concentración de fosfocreatina (Casey et al., 1996), o el incremento en la concentración de potasio

intersticial (Mohr et al 2004, Nielsen et al., 2004). Para analizar si alguno de estos factores interviene en la fatiga luego del ejercicio de alta intensidad, Krustup et al. (2006) analizaron las respuestas metabólicas de 31 jugadores Daneses en partidos amistosos de fútbol. Durante los encuentros fueron tomadas muestras de sangre de manera frecuente y también se tomaron biopsias musculares antes y después del partido e inmediatamente después del ejercicio de alta intensidad. Los autores reportaron que la disminución del rendimiento no estuvo relacionado con el lactato muscular, pH muscular, o la concentración de fosfocreatina. No obstante, se encontró una concentración de potasio plasmático de 5 mMol, con valores individuales que superan los 5,5 mMol, el cual es un valor un poco menor al observado después de un ejercicio máximo incremental hasta la fatiga (Nielsen et al, 2004). Por ello, es posible que el incremento en la acumulación de potasio intersticial se relacione con la fatiga temporaria luego del ejercicio intenso durante un partido.

Otros estudios que han analizado las causas fisiológicas de la fatiga durante el ejercicio de sprint repetido con pausas incompletas de recuperación han encontrado una relación positiva entre la concentración de fosfocreatina previa al ejercicio y la



producción de potencia mecánica (Casey et al., 1996; Söderlund et al., 1992). En base a los resultados de los trabajos mencionados puede pensarse que, el incremento en la acumulación de potasio intersticial y la disminución en la concentración de fosfocreatina previo al ejercicio intenso, pueden ser dos factores que limiten la tasa de esfuerzo luego de los períodos de contracción muscular intensa en los ejercicios intermitentes y prolongados de alta intensidad. No obstante, las causas de la fatiga luego de acciones de alta intensidad en los deportes de equipo son multifactoriales, y por tanto hacen falta más estudios para comprender esta problemática con mayor grado de precisión.

### Fatiga hacia el final del juego

Se ha reportado que la deshidratación cuando los partidos son desarrollados en climas cálidos y húmedos, y que la disminución de en la concentración de glucógeno podrían ser factores los factores fisiológicos que incidan en el desarrollo de fatiga hacia el final del partido (Reilly, 1997; Saltin 1973; Mohr et al, 2003). Bangsbo et al. (1992) describieron que una concentración de glucógeno muscular menor a ~200 mmol/kg de músculo húmedo es suficiente para disminuir la tasa glucolítica y causar fatiga muscular. Saltin (1973) observó que las reservas de glucógeno muscular estaban vaciadas ya en el primer tiempo en un grupo de futbolistas que comenzaron el partido con baja concentración de glucógeno muscular (~200 mmol/kg de músculo húmedo). En el mismo estudio algunos jugadores comenzaron el partido con niveles

normales de glucógeno (~400 mmol/kg de músculo húmedo), y los valores permanecieron elevados al finalizar la primera etapa, pero fueron menores a ~50 mmol/kg de músculo húmedo al finalizar el partido, lo cual es señal de un vaciamiento casi completo de glucógeno muscular durante un partido. Bangsbo et al. (1992) observaron concentraciones de ~200 mmol/kg de músculo húmedo al finalizar un partido, lo cual indica que no siempre se vacían los depósitos musculares de glucógeno luego de un juego. En un estudio más detallado realizado por Krstrup et al (2006) se reportó una concentración de glucógeno disminuida al final de un partido que varió entre 150-350 mmol/kg de músculo húmedo. Los datos aportados por Krstrup y cols. (2006) demostraron que las reservas de glucógeno muscular no fueron totalmente vaciadas durante un partido, no obstante al analizar las fibras musculares individualmente se encontró que aproximadamente la mitad de las fibras musculares estaban vaciadas o casi vaciadas de glucógeno (Figura 7) . Por tanto, es posible que ese vaciamiento de glucógeno en casi la mitad de las fibras musculares no permita a los jugadores poder realizar esfuerzos de alta intensidad hacia el final de los partidos, tal como lo han reportado Mohr et al (2003).

En conclusión, podríamos decir que la fatiga ocurre en los deportes que se basan en el ejercicio intermitente y prologado de alta intensidad durante diferentes fases del juego, y es aparente que mecanismos distintos operen en las etapas descriptas para ocasionar la disminución del rendimiento.

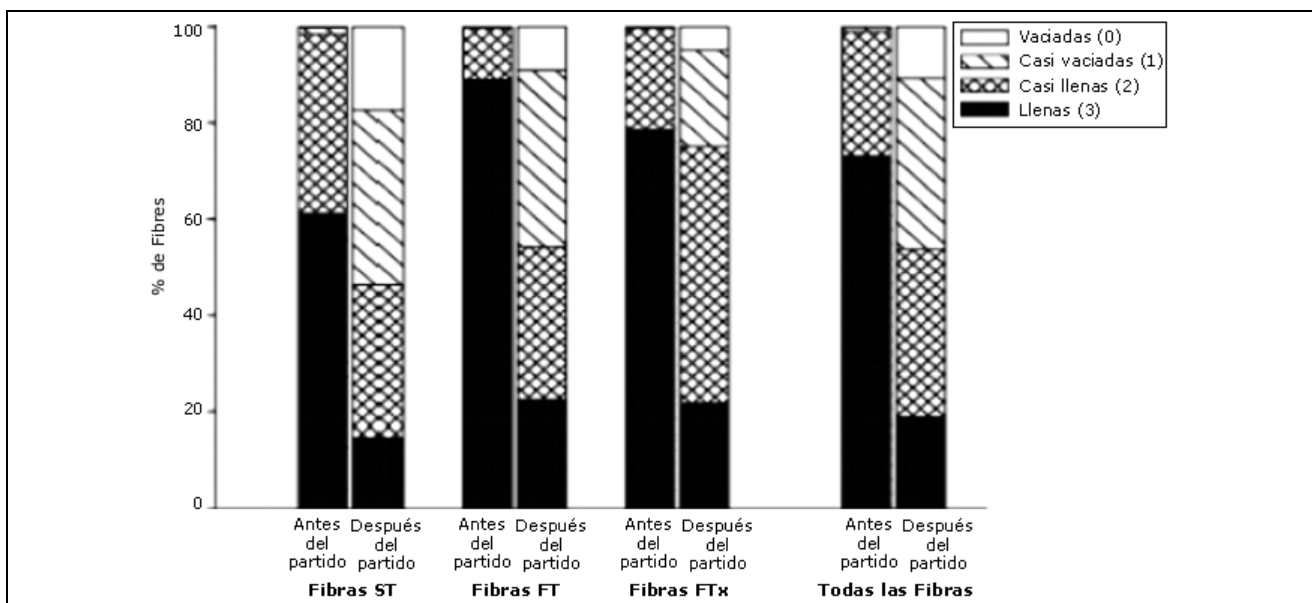


Figura 7. Concentración relativa de glucógeno en fibras ST, FTa y FTx, y en todas las fibras antes e inmediatamente después de un partido de fútbol. Tomado de Krstrup et al (2006).

## REFERENCIAS

- Abdelkrim N, El Fazaaz S, Atti E (2007). Time-motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *Br J Sports Med*; 41:69-75.
- Antivero E (2007). Análisis de la Distancia Recorrida y Tasa de Esfuerzo en Deportes de Conjunto. Material de Estudio del *Curso de Entrenamiento Físico en Deportes de Conjunto*. Grupo Sobre Entrenamiento, Argentina.
- Apor, P (1988). Successful formulae for fitness training. In: T. Reilly, A. Less, K. Davids, and W.J. Murphy (Eds.) *Science and Football*, E. & F.N. Spon, 1988, London, pp. 95-107.
- Bangsbo, J. (1994a). *Fitness Training in Football. A Scientific Approach*. Bagsværd, Denmark: HO+Storm, pp. 1-336.
- Bangsbo, J. (1994b). The physiology of soccer with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol. Scand*; 151 (S619).
- Bangsbo J., Grahan B, Kiens, and B. Saltin (1992). Elevated muscle glycogen and anaerobic energy production during exhaustive exercise in man. *J. Physiol.* 451:205 - 227.
- Bangsbo, J., L. Norregaard, F. Thorso (1991). Activity profile of professional soccer. *Can J. Sports Sci*; 16: 110-116.
- Casey A, Constantin-Teodosiu D, Howell D, Hultman E, Greenhaff P (1996). Metabolic response of type I and II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans. *Am J Physiol*; 271: E38-43.
- Coutts A, Reaburn P, Abt G (2003). Heart rate, blood lactate concentration and estimated energy expenditure in a semi-professional rugby league team during a match: a case study. *J Sports Sci*; 21 (2): 97-103
- Christmass MA, Richmond SE, Cable NT, Arthur PG, Hartmann PE. (1998). Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. *J Sports Sci* 16:739-47.
- Delamarche, P., Gratas, A., Beillot, J., Dassonville, J., Rochcongar, P., & Lessard, Y. (1987). Extent of lactic anaerobic metabolism in handballers. *Int J of Sport Med*, 8: 55-59.
- Di Salvo, Baron R, Tschan H, Calderon Montero F, Bachl N, Pigozzi F. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *Int J Sports Med*; 28 (3): 222-227.
- Drust B., Reilly T. y Rienzi E. (1995). Análisis de la prestación física y del rendimiento en Futbolistas Sudamericanos de Elite. En: Rienzi E. & Mazza J.C. (eds). *Futbolista sudamericano de elite: morfología, análisis del juego y performance*. Biosystem Servicio Educativo, Rosario, pp 89-101.
- Eklblom B., (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Med*; 3: 50-60.
- Essen B (1978). Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model. *Acta Physiol Scand Suppl* 454.
- Ghosh AK, Goswami A, Mazumdar P, Mathur DN (1991). Heart rate and blood lactate response in field hockey players. *Indian J Med Res*; 94: 351-356.
- Helgerud J, Engen U, Wisloff U, Hoff J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc*: 33 (11): 1925-1931.
- Jeukendrup A.; Saris W.; Wagenmakers A. (1998). Fat metabolism during exercise: A review. Part II. *Int J Sports Med*, 19: 293-302.
- Kirkendall, D.T; Foster, C; Dean, J.A; Grogan, J and Thompson, N.N (1988). Effect of glucose polymer supplementation on performance of soccer players. In: Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, W.J. (Eds.), *Science and Football*. London: I. & F. Spon, pp. 33-44.
- Krustrup P, Bangsbo J. (2001). Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *J Sports Sci*, 19 (11): 881-891.
- Krustrup P., Mohr M., Steensberg A, Bencke J, KJÆR M and Bangsbo J. (2006). Muscle and Blood Metabolites during a Soccer Game: Implications for Sprint Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 38 (6), 1165 - 1174.
- Künstlinger U, Ludwig HG, Stegemann J. (1987). Metabolic changes during volleyball matches. *Int J Sportsmed*, 8:315-22.
- McInnes, S.E., Carlson, J.S., Jones, C.J. and McKenna, M.J (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci*, 13, 387-397.
- McLean D (1993). Field testing in Rugby Union Football. In: DA MacLeod, RJ Maughan, C Williams, CR Madeley, J Sharp, R Nutton (eds). *Intermittent high intensity exercise: preparation, stresses and damage limitation*. E & FN Spon, London, pp 79-84.
- Menchinelli C., Morandini C., De Angelis M. (1992). A functional model of rugby: determination of sports performance. *J Sports Sci*, 10: 196-197.
- Mohr M., Krustrup P, 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., Krustrup P., Nybo L., Nielsen J.J., Bangsbo J., (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports*; 14 (3): 156-62.
- Nielsen J, Mohr M, Klarskov (2004). Effects of high intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *J. Physiol.* 554:857-870.
- Pers J., Bon M., Kovacic S., Sibila M., Deaman B. (2002). Observation and analysis of large-scale human motion. *Hum Mov Sci*, 21 (2):295-311.
- Reilly, T. (1994). Physiological profile of the player: In: B. Eklblom (Ed.). *Football (Soccer)*. Blackwell Scientific, London, pp. 78-95.
- Reilly T. (1997) Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J. Sports Sci.* 15: 257-263.
- Reilly T. (1999). La Fisiología del Rugby. *Resúmenes del Simposio Internacional de Actualización en Ciencias Aplicadas al Deporte*, Biosystem, Rosario, pp. 363-373.
- Reilly, T., Thomas, V. (1976). A motion analysis of work rate in different positional roles in professional football match-play. *J Human Movement Stud*; 2: 87-97.
- Reilly T. (2003). Motion analysis and physiological demands. In *Science and Soccer*, Thomas Reilly and Mark Williams (Eds.). Routledge Editorial, pp 59-72.
- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Med*. 13:99 - 107.
- Saltin, B. (1973). Metabolic fundamentals in exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 5:137 - 146.
- Sirotic, A.C., and A.J. Coutts (2007). Physiological and Performance Test Correlates of Prolonged, high-intensity, Intermittent Running Performance in Moderately trained women Team Sport Athletes. *J. Strength Cond. Res.*; 21 (1): 138-144.
- Smaros, O. (1980). Energy use during a football match. In: L. Vecchiet (ed). *Proceedings 1<sup>st</sup> International Congress on Sports Medicine Applied to Football*. D. Guanello, Rome, 11, pp. 795-801.
- Smekal G, Von Duvillard SP, Rihacek C, Pokan R, Hofmann P, Baron R, Tschan H, Bachl N. (2001). A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc*, 33:999-1005.

- Söderlund, K., P.L. Greenhff, and E. Hultaman. (1992). Energy metabolism in type I and type II human muscle fibers during short term electrical stimulation at difference frequencies. *Acta Physiol Scand*, 144: 15-22.
- Spencer M, Bishop D, Lawrence S (2004). Longitudinal assessment of the effects of field-hockey training on repeated sprint ability. *J Sci Med Sport*; 7 (3):323-334.
- Thomas V., T. Reilly (1979). Fitness assessment of English League soccer players throughout the competitive season. *Br. J. Sports. Med.* 13:103-109.
- Van Gol D, Van Gervan D, Boutmans J (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. In: T. Reilly, A. Lees, K. Davis & W.J. Murphy (Eds.) *Science and Football*, pp 51-59. London: E. & F.N. Spon.
- Wilmore, J.H., Costill, D.L. 1998. *Fisiología del Esfuerzo y del Deporte*. Editoria Paidotribo, Barcelona.
- Wisloff U, Helgerud J, Hoff J (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Med & Sci in Sports & Exerc*: 30(3): 462-467.