

Módulo 3. Caracterización de los deportes de equipo haciendo foco en el fútbol. Análisis de demandas

Unidad 3.1 Análisis del deporte acíclico

3.1.1 Características generales de los deportes de equipo

Con el fin de poder conocer y analizar las respuestas fisiológicas de los deportistas de equipo en sus respectivas disciplinas, debemos hacer una descripción correcta de las mismas en razón de distancias, tiempos, modalidades de juego, etcétera. Por este motivo es que a continuación mostraremos cuáles son las cualidades generales que representan a este tipo de actividades en su condición de acíclicas. Esto se hará para luego poder llegar a conclusiones más acertadas sobre cómo estas afectan el rendimiento de los atletas a niveles generales y para facilitar el abordaje de cada deporte en particular.

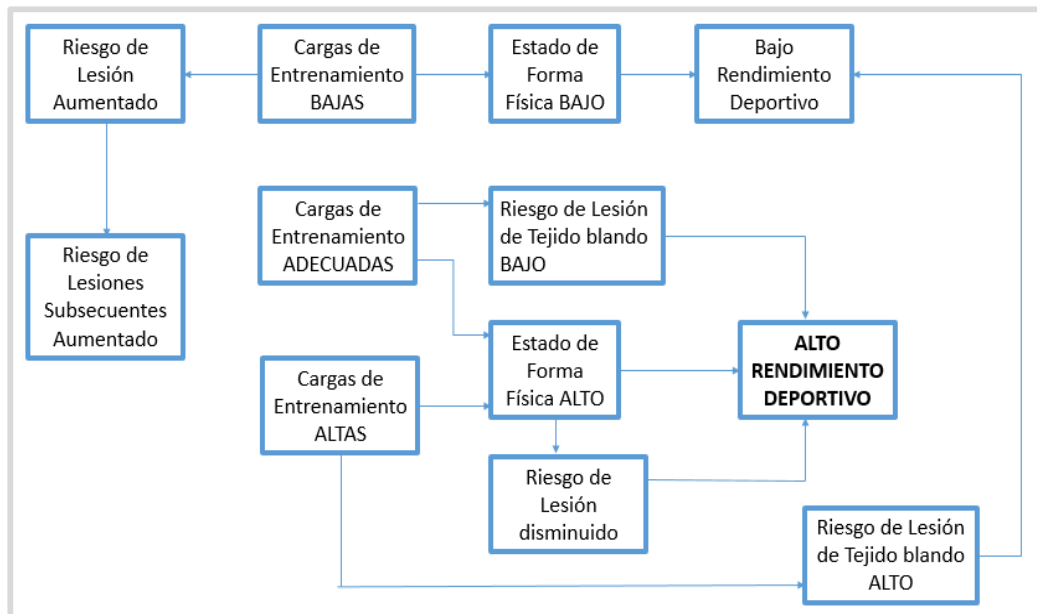
El objetivo principal del conocimiento de estos datos es poder hacer más eficiente la programación del entrenamiento y la preparación de los equipos para la competencia. Es decir, lograr un rendimiento suficiente para participar de la competencia de manera exitosa, con el menor costo energético o riesgo lesional posible.

Durante muchos años, los entrenadores y preparadores físicos de deportes colectivos han implementado sistemas de entrenamiento derivados del atletismo para el desarrollo de las cualidades físicas de sus atletas sin percatarse del componente acíclico que caracteriza a los deportes de equipo. Esta práctica, ampliamente extendida entre equipos y entrenadores de gran nivel, pudo haber derivado ocasionalmente en dos grandes problemáticas: por un lado, el desarrollo de atletas con perfiles de esfuerzo no adecuados para un óptimo rendimiento deportivo; y por el otro, tal vez siendo más peligroso, el incurrir en el sobreuso, echando mano por partida doble a las fuentes o depósitos de energía destinados a cubrir las demandas del entrenamiento. En relación a esto, Malone (2017) propuso que aquellos sujetos con mayor capacidad aeróbica intermitente poseen menor riesgo de lesión en fútbol de elite, aunque sería imprudente transpolar esta asociación a la capacidad de ejercitarse de manera estable y continua. Esto hace referencia, tal como dijimos, a la especificidad de la condición física del deportista a la disciplina que practica. Por ello, se recomienda un monitoreo exhaustivo de las cargas de entrenamiento y una periodización adecuada de las mismas, debido a que la misma carga absoluta de entrenamiento puede ser de mayor o menor riesgo de acuerdo al momento de la temporada en que se encuentre el equipo. Adicionalmente, en relación al riesgo de lesión, Gabbett (2016) propone que la carga específica de entrenamiento es vital a la hora de prevenir lesiones, y que a mayor intensidad de entrenamiento, el riesgo de lesión en deportes de equipo es menor. A pesar de ello, se suele adjudicar a las altas intensidades de entrenamiento un riesgo de lesión en tejidos blandos y, por lo tanto, podría ser necesario disminuir la carga de entrenamiento en determinados momentos de la temporada. Gabbett (2016) propone que las bajas cargas de entrenamiento se relacionan con elevados riesgos de lesión por producir una disminución en el estado de forma física de los deportistas. Una vez lesionado el jugador, se hace difícil para los integrantes de los cuerpos médicos y preparadores físicos, encontrar el momento justo para incluir al sujeto nuevamente en el entrenamiento colectivo junto a sus compañeros, debido a la dificultad



de encontrar la dosis justa de carga de entrenamiento que lo proteja de volver a lesionarse. Esta dificultad se debe a que, si el jugador participa de entrenamientos con cargas para las cuales aún no está preparado tendrá altos riesgos de lesión, pero si se mantiene en bajas cargas no alcanzará los niveles físicos adecuados para soportar la carga de competencia.

Figura 1. Relación entre las cargas de entrenamiento, el estado de forma física y los riesgos de lesión



Fuente: Modificada de Gabbett (2016).

Retornando a la relación entre la condición física específica en cada deporte, de acuerdo a Casas (2009) "el máximo rendimiento se logrará alcanzando un perfil de esfuerzo por medio de un proceso de entrenamiento que cumpla con las características específicas de ese deporte". Este es uno de los estandartes bajo los cuales los cuerpos técnicos deben elaborar sus metodologías de entrenamiento. Tampoco debemos olvidar, como decíamos anteriormente, que la especificidad de la condición física está determinada no solo por el tipo de entrenamiento físico que le proponemos al deportista sino también por la carga absoluta de los mismos, y esto incluye considerablemente a la carga durante la competencia.

Entendemos por deportes cíclicos a aquellas actividades en las que un mismo movimiento es repetido de manera continua desde el inicio hasta el final de la prueba. Se incluyen actividades como caminar, correr, nadar, pedalear y remar. En cambio, los deportes acíclicos consisten en integrar funciones en una acción y pueden clasificarse en simples o complejos. Los deportes acíclicos simples o puros son aquellas pruebas en las que se ejecuta un solo gesto, acción o suma de diferentes acciones únicas desde que comienza hasta que termina la prueba. Estos incluyen las pruebas de lanzamientos, saltos, levantamientos de pesas y la gimnasia. Por otro lado, tenemos al grupo de deportes que será nuestro foco de estudio. Dentro de los acíclicos compuestos o complejos, encontramos los deportes de equipo, el boxeo, la lucha, deportes de raqueta, etc. que pasaremos a caracterizar en el próximo apartado.



Características generales del deporte acíclico

A continuación, presentamos las principales cualidades que caracterizan a los deportes de equipo como acíclicos:

- **Intermitencia:** responde a la dinámica relacionada con las constantes detenciones y arranques del juego. Se trata de una cualidad supeditada al reglamento de cada deporte que determina los tiempos, las formas y las distancias de juego.
- **Situación:** cada acción desencadena un sinnúmero de reacciones posibles y así sucesivamente hasta la próxima detención del juego. En el caso de los deportes individuales como el tenis, la respuesta será provocada en una sola persona (el oponente) o a lo sumo en dos, si nos referimos al propio ejecutor de la acción. Así, un jugador puede recibir información gestual en el momento de ataque (con objetivo de disuasión) que lo haga modificar su decisión acerca del tipo de golpe que irá a utilizar y a dónde apuntará. Con este ejemplo intentamos representar la infinita posibilidad de acciones y reacciones que pueden darse en cada momento de juego en un deporte 1 vs 1. Ahora imagínense lo que sucede en los deportes de conjunto, en los que la cantidad de jugadores y de posibilidades de acción y reacción se ven ampliamente multiplicadas. Cabe destacar que no solamente el equipo que ataca realiza acciones que provocan respuestas en el equipo que defiende, sino que también ocurre en sentido contrario. Además, tengamos en cuenta que dentro de cada equipo hay varios jugadores ejecutando jugadas al mismo tiempo y generando reacciones tanto colectivas como individuales. Tampoco debemos olvidarnos de la presencia y participación de los jueces del partido, quienes toman decisiones en su labor de hacer que ambos equipos cumplan el reglamento.

Los deportes de equipo como el fútbol se caracterizan por acciones de juego que presentan variaciones significativas en la intensidad, duración, frecuencia, cinética y cinemática de las acciones musculares, con implicancias directas sobre las respuestas del sistema cardiovascular, neuromuscular y metabólico (Casas, 2009). Estos deportes, además, basan sus acciones en patrones de movimiento muy específicos que requieren por ejemplo cambios de dirección a gran velocidad o grandes aceleraciones y desaceleraciones con una alta implicancia neuromuscular. En el fútbol, por ejemplo, se informaron aproximadamente 1350 acciones musculares diferentes dentro de una competición, incluyendo alrededor de 220 carreras de alta intensidad con cambios de actividad cada 4-6 segundos (Mohr, 2003; Reilly, 1976).

3.1.2 Sistemas de juego, modelos de juego, caracterización

El modelo de juego es la operativización del jugar. Así, los modelos de juego son aquellos que determinan cómo se va a jugar y, por lo tanto, darán sentido a nuestro programa de entrenamiento. Esto se debe a que el objetivo de toda preparación para la competencia es lograr que el equipo y cada uno de sus integrantes estén a la altura de las demandas que propone el juego mismo, tanto desde el aspecto físico, como cognitivo y también técnico-táctico-estratégico.



Por todo ello, nos preguntamos: ¿Hay una relación entre el estilo de juego y las demandas físicas de la competencia? Claro que sí. El estilo de juego de cada equipo determinará cómo este juega y, por lo tanto, influirá directamente sobre las distancias recorridas y las intensidades a las cuales cada jugador se desenvuelve en competencia, así como también durante los entrenamientos. En este último caso, cada vez se incluye con más frecuencia a la preparación física y técnica dentro de las tareas táctico-estratégicas. Será la idea de juego la que determinará el gasto energético producido por las mismas. De acuerdo a esto, algunas corrientes, como la Periodización Táctica, proponen al modelo de juego como centro absoluto de la programación del entrenamiento en todos sus niveles, áreas y aspectos. Por lo tanto, podríamos decir que en función de cuanta importancia se le dé al modelo de juego dentro de la metodología de trabajo, será la relación entre el mismo y las demandas físicas y fisiológicas del entrenamiento.

Para reforzar este análisis, debemos retomar cuestiones que tienen que ver con la filosofía, es decir, la manera que tiene cada entrenador de concebir o de pensar el juego. Esta, seguramente, estará incluida dentro de un paradigma o corriente de pensamiento, basada en una teoría. El objetivo de un modelo de juego es entonces construir, por medio del entrenamiento, una determinada manera de participar de las competencias, basada en ciertos principios que el entrenador determinará como bases del funcionamiento del equipo. Luego, se tendrá que poder adaptar a este modelo todas las áreas y aspectos que componen el proceso y el programa de trabajo en el deporte a lo largo de una competencia o período. A su vez, dentro de un mismo deporte, y hasta dentro de una misma liga, encontraremos tantos estilos y formas de juego como equipos haya, incluida la posibilidad de que hasta un mismo equipo modifique su modelo de juego de un partido a otro, por lo menos desde el punto de vista estratégico. Este concepto de modelo de juego está siempre apuntado a lograr el rendimiento deportivo deseado y de la mano de ello, los resultados que se intentan alcanzar. Por lo tanto, estará en constante análisis por parte, sobre todo, del cuerpo técnico de cada equipo.

Naturalmente, Vázquez (2015) destaca cinco campos de investigación fundamentales en la búsqueda de la mejora del rendimiento de jugadores y equipos. Estos son los siguientes:

- 1)** El diseño de protocolos para la evaluación del rendimiento físico.
- 2)** El estudio de las lesiones y los procesos generadores de fatiga en el deportista.
- 3)** La presentación de propuestas metodológicas apuntadas al análisis del juego en su vertiente física, técnica y táctica.
- 4)** La detección de talentos.
- 5)** El estudio de la influencia de distintas variables situacionales del partido en el rendimiento y resultado obtenido por los equipos (Vázquez, 2015).

Este conjunto de elementos nos puede ayudar a comprender cuál es la lógica del juego y, por lo tanto, lograr mejorar el rendimiento. Teniendo en cuenta la temática desarrollada anteriormente en donde explicamos el alto componente situacional de los deportes de equipo, se hace difícil poder sistematizar este análisis o parametrizarlo. Es decir, a pesar de que conozcamos cuantos metros recorre un jugador durante un partido, a qué velocidad promedio o con qué predominancia energética los realiza, la cantidad de pases por partido (y cuántos de ellos llegan a destino), el historial clínico del deportista y otro pool de datos relevantes, no podremos parametrizar su toma de decisiones, ni la reacción



que esta genere en los otros jugadores (rivales y compañeros) que están participando de la competencia. Por supuesto que esto no nos desalienta a la hora de seguir investigando y trabajando para continuar con la mejora del rendimiento deportivo tanto individual como colectivo, pero si nos deja en claro que, afortunadamente, jamás podremos controlar el juego por completo.

Volviendo al modelo de juego, finalmente será este el que va a determinar las cualidades de prestación físico-técnicas de los jugadores a seleccionar para un equipo de adultos, como así también a desarrollar en las categorías formativas. El caso ideal serían aquellas instituciones en las que el modelo de juego del equipo de primera determina una línea de trabajo en las categorías formativas. Esto genera, por un lado, que los jóvenes tengan modelos a seguir como instancia de aprendizaje dentro de la misma institución y, por el otro, que el entrenador de la primera división pueda echar mano con mayor facilidad y seguridad de las categorías inferiores a la hora de buscar jugadores para conformar el plantel profesional.

3.1.3 Capacidades cognitivas en deportes de equipo

En relación a aquellos aspectos que caracterizan a los deportes acíclicos complejos o de situación, haremos referencia al concepto de estructura cognitiva dentro del entrenamiento deportivo, desarrollado por Seirul-lo Vargas (2013): la misma está conformada por “la totalidad de los procesos intra e intersistémicos que acontecen en el sujeto, que le proporcionan la posibilidad de optimizar su funcionalidad para, de toda la información que emana de cualquiera y todos los componentes de los distintos acontecimientos que pueden aparecer en los múltiples entornos y situaciones vividas durante interacciones en el juego y en los entrenamientos, poder extraer lo necesario, procesarlo de manera adecuada y disponer de ello para realizar una posible ejecución motriz”. Con respecto a estas tres posibilidades de procesamiento de la información, el autor describe sus funcionalidades de la siguiente manera:

Funcionalidad cognitiva 1: extraer de él mismo y del entorno específico tanto en el juego como el entrenamiento, toda la información que circule, mediante los sistemas que le permitan identificar los estados y cambios de toda naturaleza que estén presentes en cada momento de su intervención activa o pasiva en los acontecimientos. Los sistemas intervinientes, entre otros son los de: sensación, percepción, representación, atención y memorización (corto y largo plazo, sensorial).

Funcionalidad cognitiva 2: tratar, mediante procesos de selección, diferenciación, generalización, comparación, reconocimiento, exclusión, inclusión, codificación y nominación, la información obtenida por los sistemas anteriormente mencionados, mediante las siguientes estrategias:

- Participación: durante las interacciones de cada proceso motriz y no motriz vivido.
- Socialización: en las interacciones con las demás personas que comparten la práctica.
- Verbalización: en la comunicación establecida tanto verbal como no verbal.



- Conceptualización: implica conocer las experiencias mediante las técnicas utilizadas y las estrategias alcanzadas.

Funcionalidad cognitiva 3: disponer de la información tratada para poder pasar al plano de la acción dentro del entorno del juego, transformándolo en el sentido deseado y esperado. Algunos autores las llaman funciones superiores, que son: argumentar, testificar, enjuiciar, aprender, tomar decisiones, comunicar, proyectar, crear.

Debemos destacar la constante interacción entre estas tres funciones cognitivas, ya que, al momento de disponer de la información, estoy al mismo tiempo extrayendo nueva información y realizando su tratamiento.

El objetivo de poner en claro el modo en que funciona la estructura cognitiva de los deportistas es resaltar la constante variabilidad de situaciones que se ponen en funcionamiento tanto en entrenamiento como en competencia, en este tipo de actividades acíclicas, producto de la toma de decisión.



Unidad 3.2 Análisis de las demandas Físicas en competencia y entrenamiento

3.2.1 Factores condicionantes del rendimiento físico

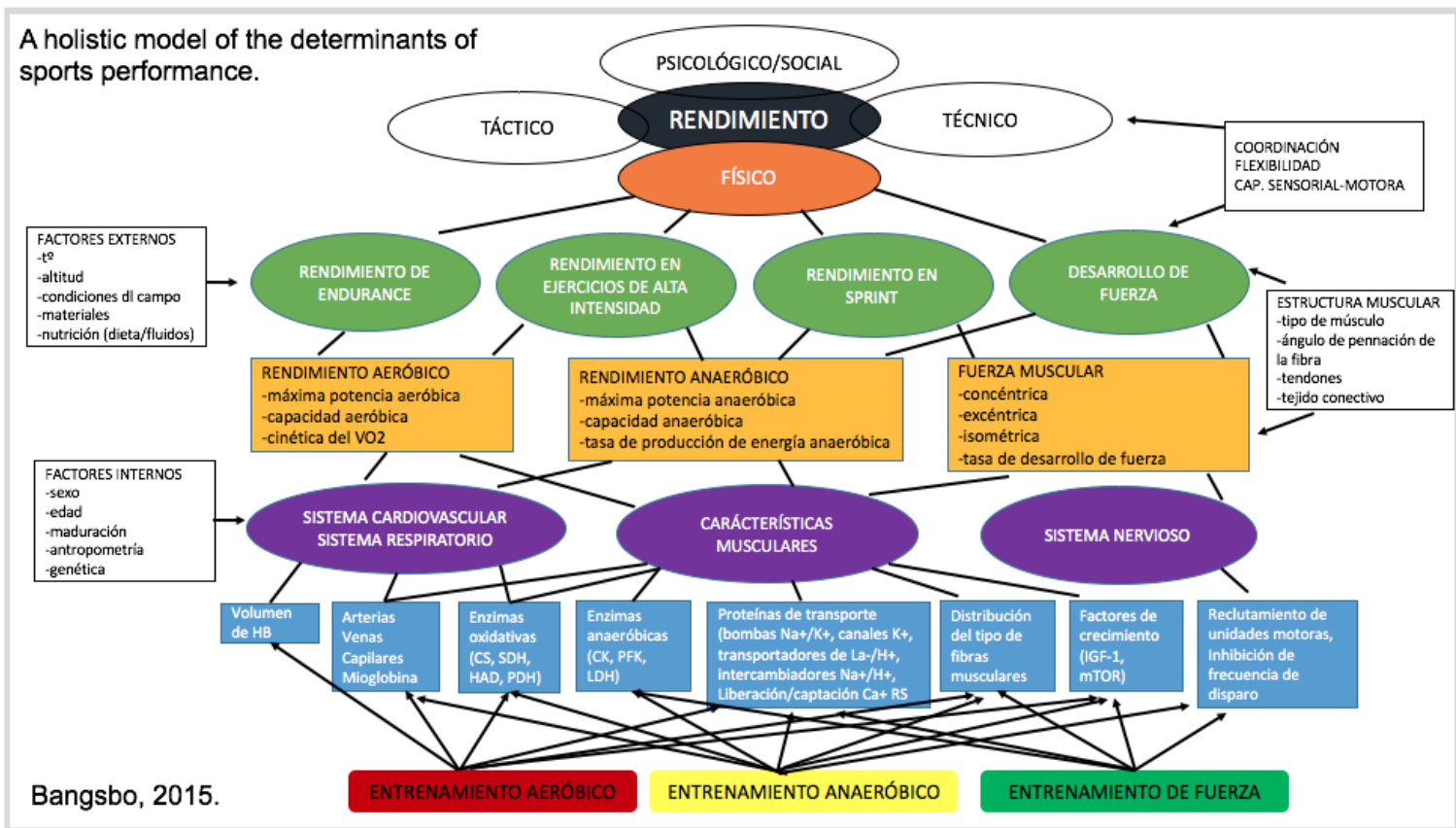
El rendimiento en la mayoría de los deportes está determinado por las características técnicas, tácticas, psicológicas y fisiológicas de los atletas. En algunas disciplinas, como las carreras de 100 metros, maratones y remo, el rendimiento está muy influenciado por las capacidades físicas de los atletas mientras que en otros, como los deportes de balón, las habilidades técnico-tácticas pueden compensar algunas deficiencias en los niveles de aptitud física. Sin embargo, en la mayoría de los deportes, los atletas necesitan muy buenas aptitudes físicas para afrontar las demandas de la competición y permitir así el aprovechamiento de sus cualidades técnico-tácticas.

Bajo condiciones óptimas, las demandas del deporte están fuertemente relacionadas con la capacidad física de los atletas, que podemos dividir en cuatro categorías: (1) rendimiento en endurance, (2) habilidad de ejercitarse a alta intensidad por períodos prolongados, (3) habilidad de sprintar y (4) capacidad de desarrollar altos niveles de fuerza en acciones como patear una pelota en fútbol, o saltar y rematar en el Voley. A su vez, no todas las categorías son relevantes en todos los deportes. Por ejemplo, el componente de endurance no es importante para un corredor de 100 metros.

La capacidad que determina el rendimiento en cada tipo de deportes, está basada en las características del sistema respiratorio y cardiovascular, así como de la musculatura en conjunto con el sistema nervioso. El sistema cardiovascular es importante para el transporte de oxígeno a los músculos esqueléticos mientras que el sistema muscular juega un rol importante en el comportamiento mecánico y metabólico durante el ejercicio. Del mismo modo, los niveles de enzimas mitocondriales así como la densidad capilar ejercen una fuerte influencia en el rendimiento aeróbico. Las características respiratorias, neurales, musculares y cardiovasculares están determinadas al mismo tiempo por el sexo, la edad, la antropometría y la maduración cuando se trata de niños. A su vez, algunos factores ambientales como la temperatura, la humedad y la altitud así como la ingesta nutricional antes del ejercicio pueden influenciar el rendimiento de los deportistas (Bangsbo, 2015).



Figura 2. Modelo holístico de determinantes del rendimiento deportivo



Fuente: Bangsbo, 2015.

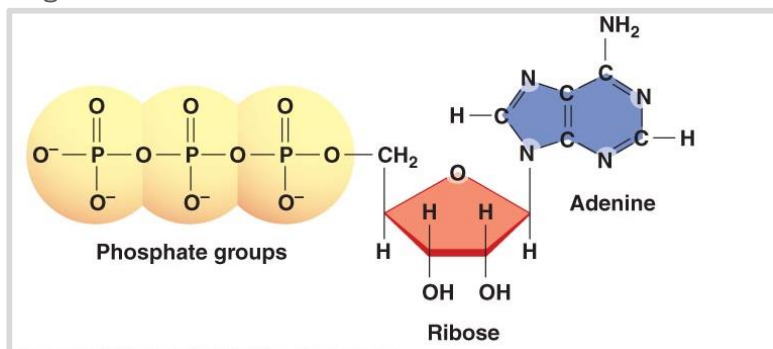
3.2.2 Análisis de las demandas fisiológicas de deportes de equipo

Cuando realizamos trabajo muscular, existe solo una molécula que puede encargarse de la producción de energía mecánica necesaria para la interacción de las proteínas contractiles: el ATP o Adenosin TriFosfato. Esta molécula, compuesta por una base nitrogenada, un azúcar de 5 carbonos y un grupo fosfato, se encuentra presente en muy bajas concentraciones en el organismo humano y por tanto debe ser permanentemente resintetizada. A pesar de parecer una contradicción, esta capacidad de resíntesis del ATP representa una ventaja biológica, dado que el almacenamiento de grandes cantidades de este metabolito en el organismo significaría un elevado peso extra dado que el ATP es una molécula de gran tamaño y peso (1 mol ATP=503g), lo cual incrementaría a su vez la demanda energética. Así, el ATP se dispone a ser degradado y resintetizado permanentemente gracias a la existencia de reservar energéticas provistas por las fuentes de alimentación humana. Estas reservas constituyen un grupo de moléculas orgánicas que se almacenan en el organismo bajo formas químicas diferentes a las cuales se ingieren, y las mismas son: la creatina, que se almacena como fosfocreatina (PCr); la glucosa, que se almacena como glucógeno; los lípidos, que se almacenan como triglicéridos y las proteínas, que no poseen un depósito de almacenamiento, aunque pueden representar una reserva energética en determinadas situaciones de emergencia. Estas reservas energéticas cumplen un rol fundamental en el aporte energético para la resíntesis de ATP, dado que las mismas se someten a degradación por diversos conjuntos



de enzimas, conocidos como sistemas energéticos, cuyo rol es la catabolización de esas reservas a fines de producir energía para la resíntesis de ATP.

Figura 3. Molécula de ATP



Fuente: Pearson, B., 2008.

Sistemas energéticos

Para definirlos conceptualmente, podríamos decir que existen tres sistemas energéticos fundamentales: el sistema fosfogénico, encargado de degradar PCr; el sistema glucolítico, encargado de degradar glucosa o glucógeno y el sistema oxidativo, encargado de degradar glucógeno, glucosa, triglicéridos o proteínas. Interesantemente, estos sistemas energéticos o grupos de enzimas, se caracterizan por degradar sustratos a determinada velocidad, pudiendo así resintetizar ATP a diferentes tasas. Si bien todos actúan de manera sincrónica, en lo que se conoce como continuum energético, unos predominarán sobre otros a la hora de efectuarse gestos deportivos a distintas intensidades o duraciones, siendo la intensidad quien marcará predominantemente el sustrato energético a utilizar.

Al analizar el perfil de esfuerzo de los deportes de equipo, se ha podido registrar que durante los partidos, los jugadores pasan la mayoría del tiempo de juego caminando o a bajas intensidades, lo cual nos indica la predominancia de los sistemas aeróbicos durante los encuentros. Por ejemplo, durante un partido de fútbol, un jugador puede estar entre 50-65% del tiempo entre parado o caminando (47- 61min de juego). A pesar de la clara dominancia aeróbica durante los encuentros, acontece que las definiciones o acciones con mayor repercusión en estos deportes acontecen a altas intensidades, con esfuerzos como sprints, remates, saques o cabezazos. Por ello, comprender la fisiología durante esfuerzos de alta intensidad se torna de gran importancia para el entrenamiento en deportes de equipo.



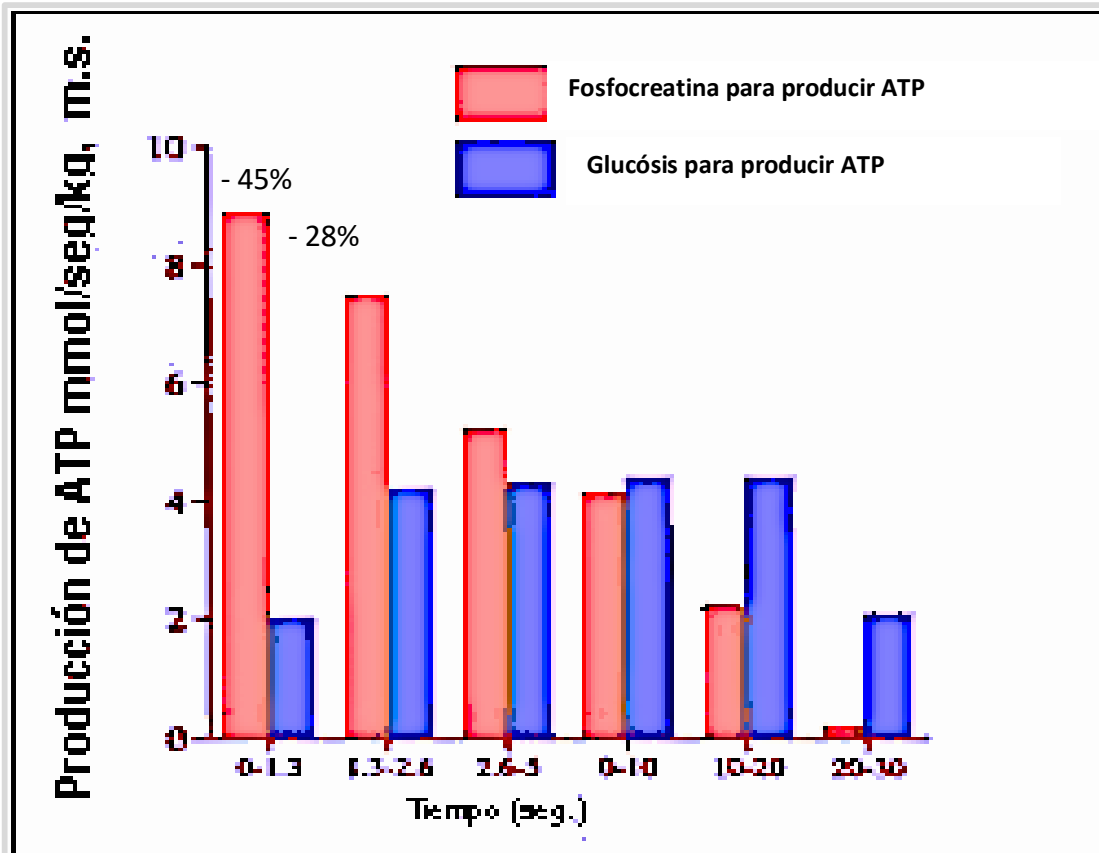
Figura 3. Perfil de esfuerzo durante competencia para fútbol y básquet



Fuente: Delextrat, 2011.

Dentro de los sistemas energéticos que más potencia de resíntesis de ATP poseen se encuentran el sistema de fosfágenos y el sistema glucolítico. Es importante destacar que la importancia de poseer elevadas tasas de resíntesis de ATP en este tipo de deportes viene dado por la necesidad de aplicar elevados valores de fuerza, que se traducirán en elevadas intensidades de contracción muscular, en tiempos muy cortos como 100-200 milisegundos. Por ello, es importante en estos deportes entrenar los sistemas fisiológicos y locomotores a fines de mejorar la tasa de producción de fuerza por unidad de tiempo o rate of force development (RFD). En este sentido, dado que la máxima tasa de resíntesis de ATP se produce entre los 0-1,3 s podríamos deducir que en ese tiempo se producirán las mayores intensidades de esfuerzo durante un partido. Sin embargo aquí surge una paradoja: si un jugador alcanza su máxima velocidad de sprint en tiempos cercanos a los 5-7s, ¿por qué es que las tasas de máxima resíntesis de ATP o producción de energía se producen en tiempos considerablemente menores (0-1,3 s)? Naturalmente, esto acontece dado que la máxima tasa de energía no viene determinada en este tipo de deportes por altas tasas de velocidad de desplazamiento, sino por altas tasas de aceleración, las cuales se dan precisamente al momento de ruptura de la inercia, en el primer segundo de contracción muscular. En el gráfico de la siguiente figura, vemos como a partir de los 1,3 s la tasa de producción de ATP por unidad de tiempo decae en un 45% y luego un 28% hasta los 2,6 s. La comprensión de la fisiología del esfuerzo en estos términos nos indica entonces la importancia de entrenar bajo la necesidad de: (1) mantener una elevada tasa de resíntesis de ATP por unidad de tiempo, (2) retrasar la generación de fatiga inducida por el ejercicio.

Figura 4. Interacción entre los sistemas energéticos fosfagénico y glucolítico durante los primeros 30 s de máxima contracción muscular voluntaria

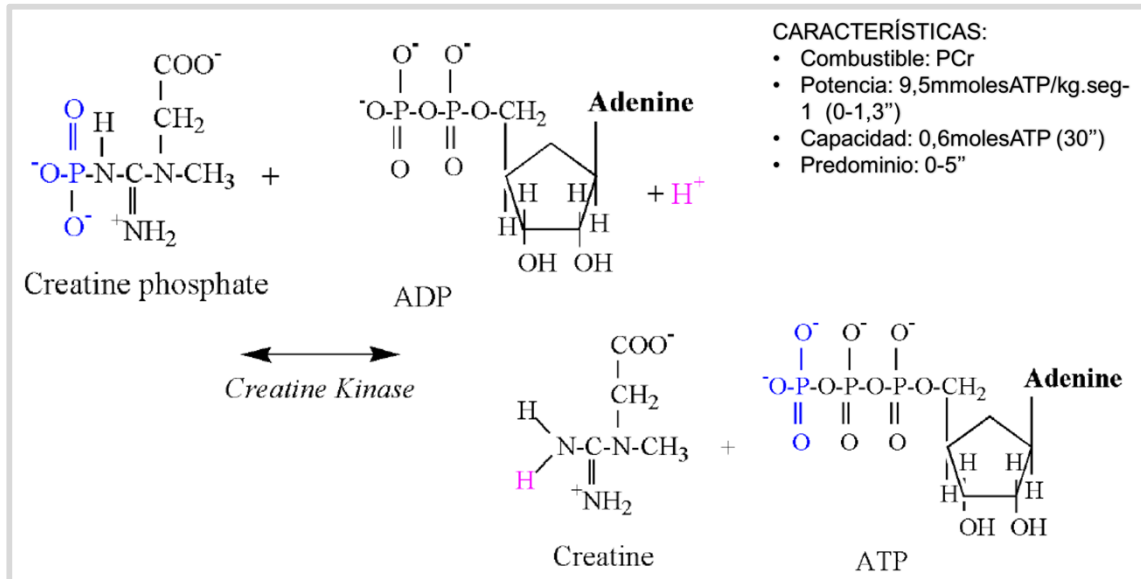


Fuente: elaboración propia.

Importancia del sistema de Fosfógenos en la resíntesis de ATP y amortiguación de la acidosis intracelular

Por sus características bioquímicas, el sistema enzimático de degradación de la PCr se destaca por poseer dos grandes propiedades: la primera es su gran potencia de resíntesis de ATP, pudiendo resintetizar hasta 9,5mmoles ATP/kg dw.seg-1, potencia que se alcanza en el primer segundo de contracción muscular; la segunda es su capacidad para amortiguar la acidosis intracelular causada por la liberación de H⁺ que se da como resultado de la hidrólisis del ATP. Así, el entrenamiento de este sistema energético permitirá mantener una elevada tasa de resíntesis, a la vez que retardará la aparición de fatiga inducida por el ejercicio. La importancia de mantener un potente sistema de resíntesis a partir de los fosfógenos radica en que podrá comenzarse cada esfuerzo intermitente con una mayor intensidad, si es que se ha logrado resintetizar una alta cantidad de PCr al tiempo que la misma se degrada. Para ello, debemos conocer la cinética de degradación y resíntesis de la PCr, así como considerar luego la importancia de mantener elevadas las reservas de PCr en el organismo.

Figura 5. Resíntesis de ATP y amortiguación de H⁺ a partir de la Fosfocreatina

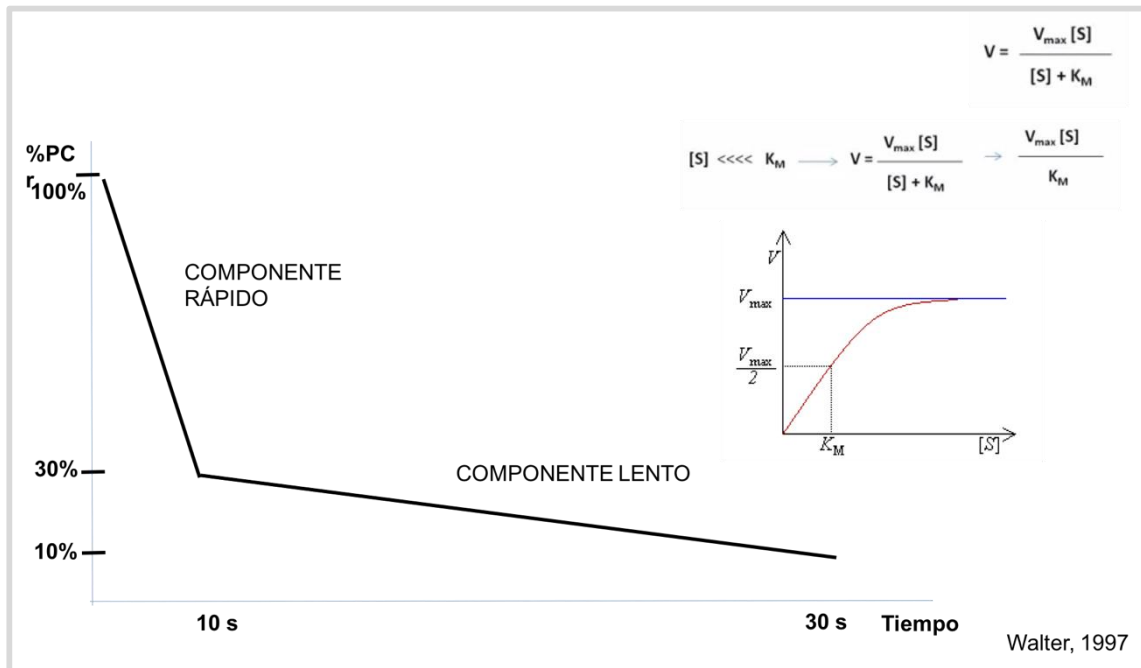


Fuente: Adaptado de <https://goo.gl/Mn6Fnz>

Cinética de degradación de la PCr

En relación a la cinética de degradación de la PCr, se ha observado que la misma se da en forma bifásica, con una fase rápida de una duración aproximada de 10 s en donde se degrada el 70% de la PCr y una fase lenta de 20 s donde se degrada el 30% restante. Las características de esta tasa de catálisis de la PCr viene determinada por la constante de Michaelis Menten de su única enzima, la creatina kinasa (CK), que determina que la CK aumentará su actividad en forma proporcional a la disponibilidad de sustrato (PCr). Esto significa que a mayor disponibilidad de PCr, la tasa de actividad de la CK será mayor, mientras que a medida que el sustrato se depleciona, la tasa de actividad de la CK disminuye. Por ello, es muy importante entrenar a nuestros jugadores para ser capaces de resintetizar grandes cantidades de PCr durante un partido. Esta resíntesis ocurrirá esencialmente en las pausas de recuperación entre esfuerzos.

Figura 6. Cinética de degradación de la Fosfocreatina

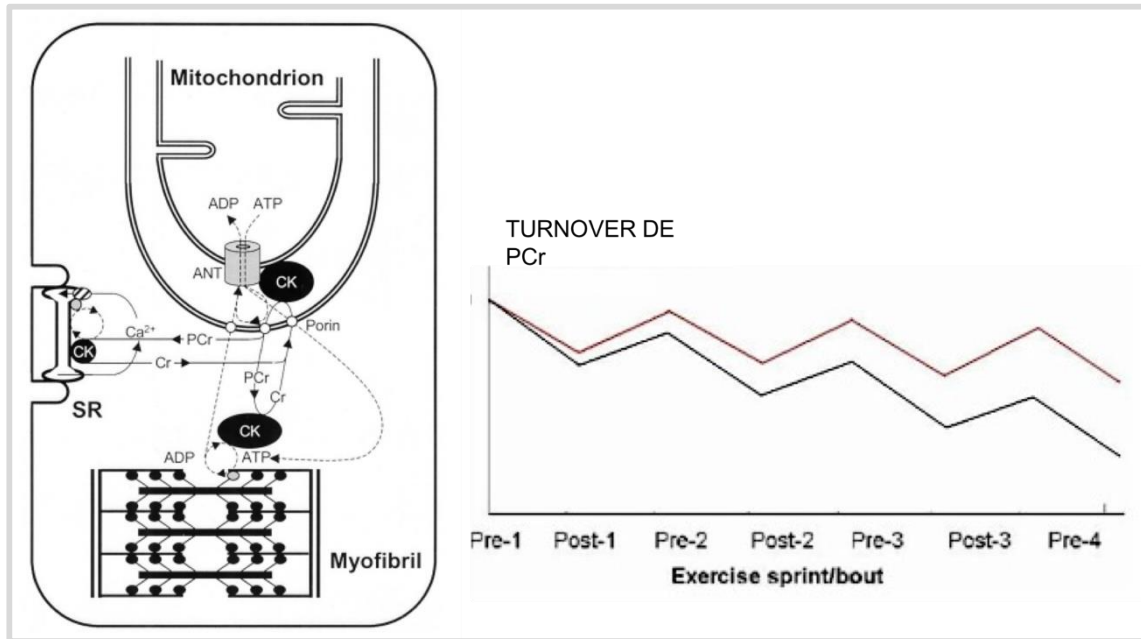


Fuente: Walter, 1997.

¿Cómo mejorar la tasa de resíntesis de APT a partir de la PCr durante las pausas entre esfuerzos intermitentes?

Hace ya bastante tiempo se conoce que la resíntesis de PCr acontece gracias al aporte de energía proveniente de la degradación de una molécula de APT mitocondrial, bajo un mecanismo dependiente del metabolismo aeróbico. Por ello, las mayores tasas de resíntesis de PCr se conseguirán en aquellos sujetos con mejores capacidades aeróbicas, determinadas por una mayor densidad mitocondrial, sobre todo en las fibras rápidas tipo IIa, donde la PCr se depleciona en una mayor medida. Así, la densidad mitocondrial podría ser un factor limitante de la velocidad de resíntesis de ATP por vías anaerobias como es en el caso del sistema de fosfágenos. En la siguiente figura, observamos, a la izquierda el bucle de resíntesis mitocondrial de PCr y a la derecha una representación gráfica del perfil de esfuerzo de dos atletas en relación al turnover o recambio de PCr a lo largo de cuatro sprints repetidos. Tal como puede apreciarse, el atleta de la línea roja, al tener mayor potencia de resíntesis entre series, puede mantener un perfil de esfuerzo más elevado lo cual nos permite observar una clara ventaja en relación a su adversario. En síntesis, si queremos alcanzar altas demandas de contracción muscular debemos degradar mucha Fosfocreatina, pero también tener la capacidad de resintetizarla a una alta tasa durante los esfuerzos de recuperación, objetivo que puede alcanzarse con una elevada biogénesis mitocondrial en las fibras rápidas. A su vez, estos hechos nos sugieren la importancia de la suplementación con creatina durante ciertos momentos de la temporada en atletas que practican deportes de tipo intermitentes.

Figura 7. Mecanismo de resíntesis mitocondrial de la Fosfocreatina



Fuente: elaboración propia.

¿Qué determina la caída de la potencia de resíntesis de ATP luego de los primeros segundos de contracción muscular?

Al parecer, la caída en las [PCr] junto con la acumulación de ADP, AMP, Pi y catecolaminas, activan fuertemente la glucólisis, pasados los primeros segundos de contracción muscular. Esta activación alostérica de la glucólisis por degradación de la PCr impide mantener altas tasas de esfuerzo por grandes unidades de tiempo, lo cual implica una necesidad fisiológica del atleta de recuperarse si quiere repetir esfuerzos intensos otra vez. La potencia de resíntesis de ATP se verá deteriorada a medida que los sistemas energéticos más potentes van perdiendo predominancia, lo cual acontece por una serie de fenómenos iónicos y enzimáticos que finalmente resultan en una inhibición de la descarga eléctrica de las motoneuronas medulares sobre las fibras musculares. Así, la pérdida de potencia durante esfuerzos de alta intensidad se debe a limitaciones intrínsecas del metabolismo anaeróbico. Esto nos conduce inevitablemente al concepto de Reserva Aneróbica de Velocidad.

Figura 8. Factores limitantes de la potencia metabólica en esfuerzos cortos de alta intensidad

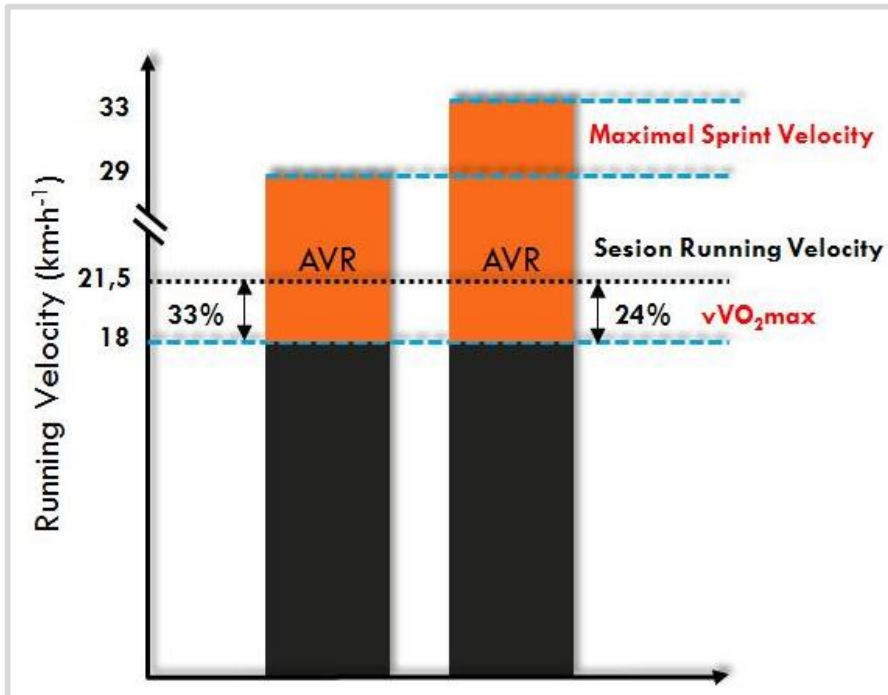


Fuente: elaboración propia.

Reserva Anaeróbica de Velocidad: ¿qué es y para qué sirve?

Propuesto por Bundle y Billat en la década del 2000, el concepto de Reserva Anaeróbica de Velocidad (ASR) representa una “reserva” de velocidad de carrera una vez que un individuo ha alcanzado su velocidad asociada al consumo máximo de oxígeno o $vVO_2\text{máx}$ (i.e., la diferencia entre la máxima velocidad de sprint y la $vVO_2\text{máx}$). Así, aquellos sujetos con similares valores de $vVO_2\text{máx}$ podrán tener distintas velocidades de sprint, lo cual determinará su ASR y por tanto, también será diferente la cantidad de energía derivada del metabolismo anaeróbico que podrán disponer para una serie de ejercicios de alta intensidad. Tal como dijimos anteriormente, la mayor intensidad de contracción muscular produce mayores caídas en la potencia de resíntesis de ATP, por lo tanto, un aumento en la dependencia del metabolismo anaeróbico resulta en una disminución en la producción de potencia durante contracciones musculares sucesivas, lo cual se evidencia por alteraciones en la actividad neuromuscular. Así, las adaptaciones fisiológicas asociadas a un incremento en los mecanismos de resíntesis de ATP por vías aeróbicas, podría estar asociado a una mayor habilidad para resistir la fatiga durante ejercicios de sprint repetidos.

Figura 9. Reserva Anaeróbica de Velocidad de dos atletas con la misma $v\text{VO}_2\text{max}$

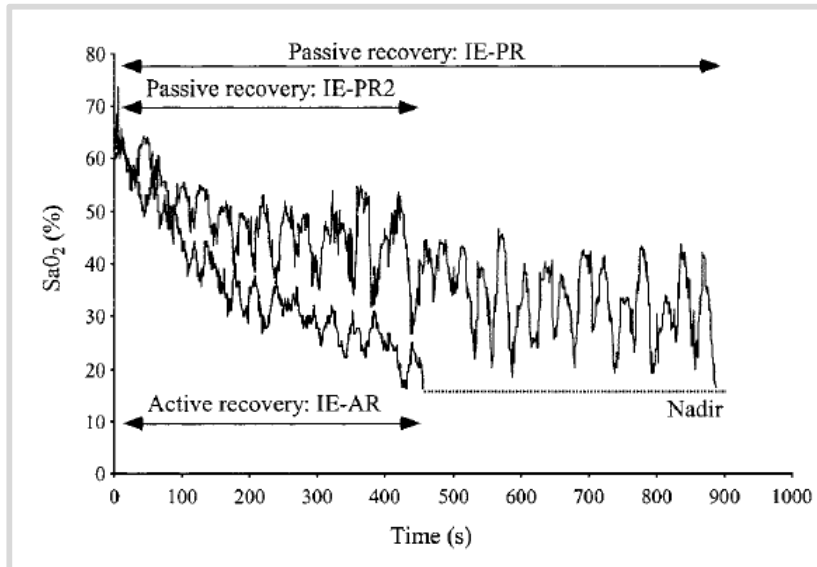


Fuente: Recuperado de <https://goo.gl/vY6T5i>

Recuperación y resíntesis de PCr

El tipo de recuperación afectará indefectiblemente a la tasa de resíntesis de PCr, pudiendo esta variable ser controlada en los entrenamientos de deportes colectivos y en bastante menor medida durante los partidos o competencias. De acuerdo a esto, se ha observado que la recuperación pasiva entre esfuerzos permite una mayor recuperación y resíntesis de sustratos energéticos. Los mecanismos involucrados a este fenómeno podrían tener que ver con una restricción en la reoxigenación de la Hemoglobina y por tanto la resíntesis de PCr durante las pausas activas de recuperación. Así, la biodisponibilidad de oxígeno, media sus efectos en el rendimiento de sprints aumentando la tasa de resíntesis de PCr durante las pausas del ejercicio.

Figura 10. Tasas de reoxigenación de la Hemoglobina en pausas pasivas o activas

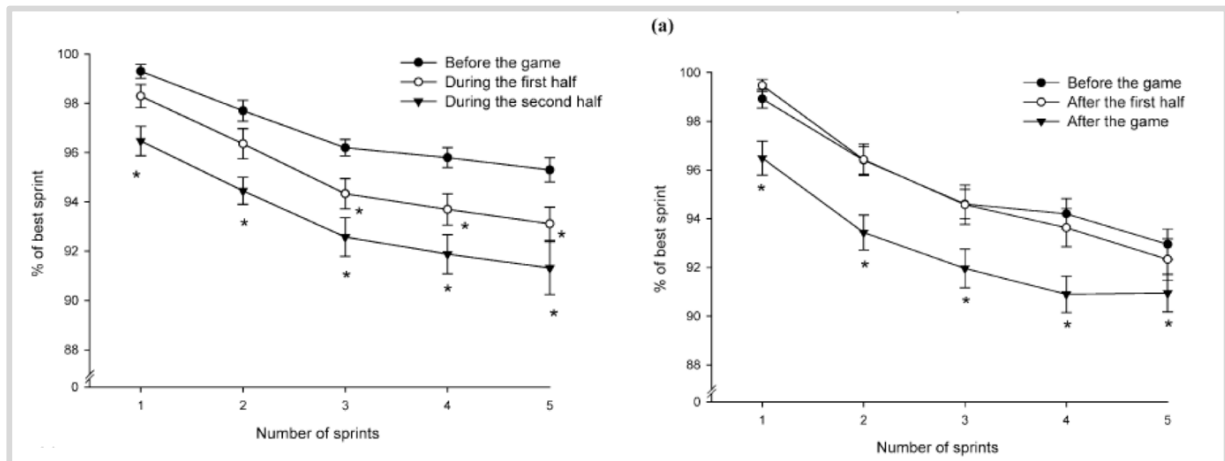


Fuente: elaboración propia.

¿Cómo se desarrolla la fatiga en los deportes acíclicos?

En un famoso estudio desarrollado por Krustup y cols. (2006), se procuró observar cómo se desarrollaba la fatiga en los deportes colectivos. Mediante una serie de mediciones neuromusculares, pudieron observar que la fatiga durante este tipo de esfuerzos ocurre temporalmente a corto plazo, luego de esfuerzos de alta intensidad intra-juego (figura izq.) y temporalmente a largo plazo, hacia el final del partido (figura der.)

Figura 11. Desarrollo temporal de la fatiga a corto y largo plazo en fútbol, medido mediante el rendimiento de sprints en diferentes momentos de la competencia



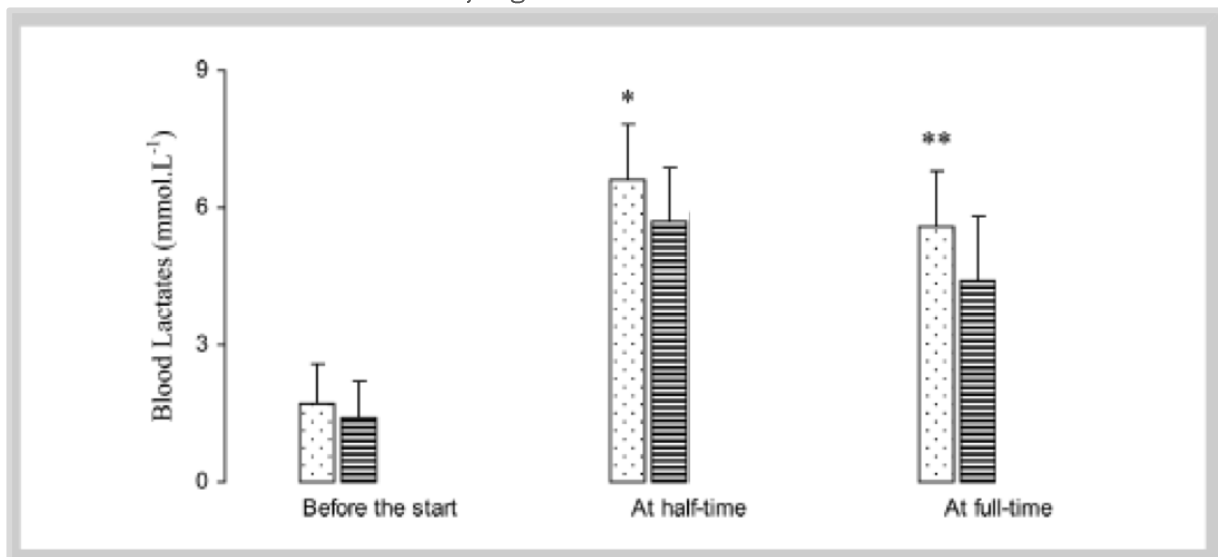
Fuente: elaboración propia.



En relación a la fatiga aguda intra-ejercicio, se ha determinado históricamente que la misma está dada por la acumulación de desechos producto del metabolismo anaeróbico predominante durante los esfuerzos de alta intensidad, y dentro de ellos, principalmente por la acumulación de ácido láctico. Algunos trabajos teóricos de la década del 2000 proponen, sin embargo, que el ácido láctico no puede formarse a pH fisiológico en el organismo humano, dado su valor de pKa o constante de disociación ácida. Así, la especie formada sería lactato y no ácido láctico, al mismo tiempo que el lactato no podría liberar H⁺ y causar acidez o fatiga, dada su condición de base conjugada. Otras teorías más recientes (Lindinger, 2008), coinciden con la formación de lactato y no ácido láctico en el organismo, aunque proponen que estos metabolitos así como otros, pueden exacerbar cambios iónicos (K⁺, Cl⁻), modular conductancias de canales iónicos (Na⁺/K⁺, K_{atp}, ClC-1) o influenciar procesos de sensibilidad iónica como la excitabilidad del sarcolema, contribuyendo así en otro sentido a la aparición de fatiga aguda durante el ejercicio al generar cambios físico-químicos en el agua corporal.

Independientemente de su contribución en mecanismos de fatiga, la producción de lactato en el organismo es fundamental para el mantenimiento del potencial redox y por tanto la potencia glucolítica de resíntesis de ATP. Además, el lactato sirve como combustible, pudiendo ser oxidado en otros tejidos con fines de producción de energía en forma de ATP o de glucógeno vía neoglucogénesis hepática. Así, la producción de lactato es una condición indispensable para el mantenimiento de altas intensidades de contracción muscular. Estudios realizados con basquetbolistas (Abdelkrim, 2010), han observado que los atletas de elite (barras blancas) poseen valores de lactato más elevados luego del primer tiempo así como al final del partido, cuando se compara con atletas de menor nivel (barras rayadas).

Figura 12. Valores de lactatemia media en jugadores de básquet amateurs y de elite durante diferentes momentos del juego

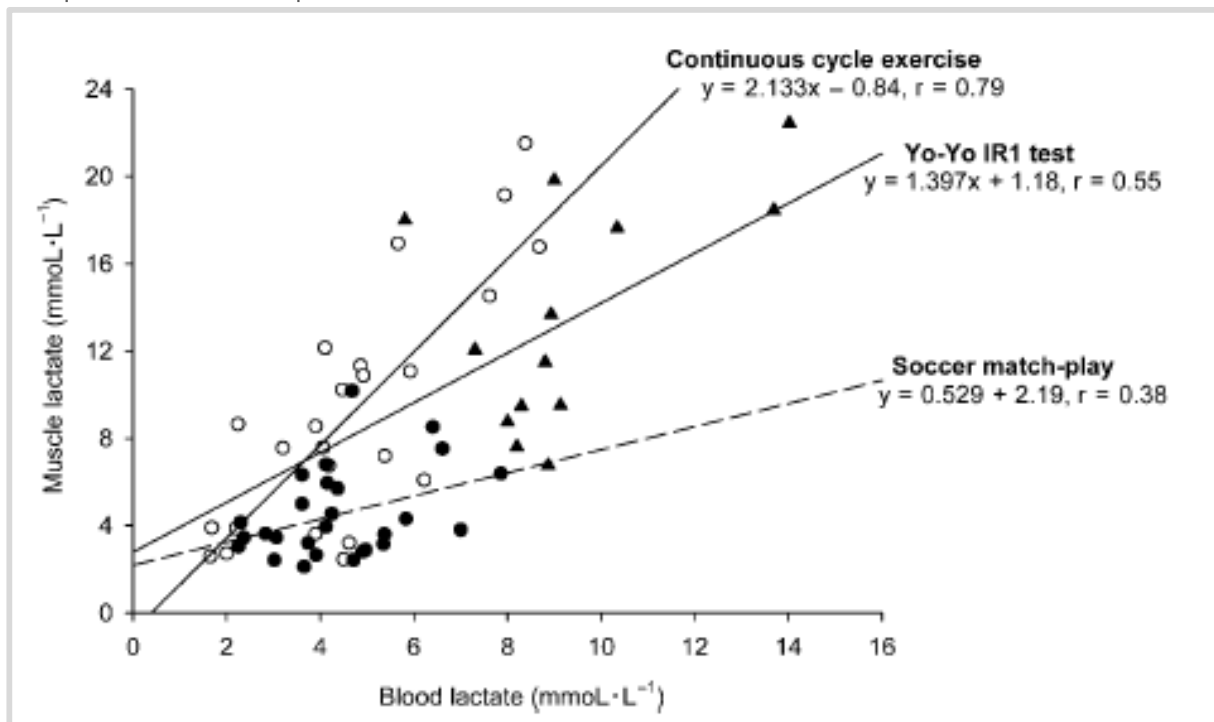


Fuente: elaboración propia.

Independientemente de esto, parece ser que las valoraciones de lactato sanguíneo no representan de manera fiable lo que acontece dentro de la fibra muscular cuando se trata de esfuerzos de tipo intermitente, limitando la determinación de lactato sanguíneo de manera repetida en el tiempo durante este tipo de esfuerzos (Krustrup, 2006). A diferencia

de lo que acontece durante esfuerzos de tipo continuos, la diferencia entre la producción y remoción de lactato durante esfuerzos intermitentes parece afectar el coeficiente de variación entre muestras de lactato obtenidas en estas condiciones. Esto significa que, durante el ejercicio de tipo intermitente, los niveles de lactato sanguíneos pueden ser altos a pesar de que los niveles musculares sean relativamente bajos. También puede suceder que mientras más cercana sea la toma de muestra sanguínea, las diferencias entre estas dos concentraciones sean mayores.

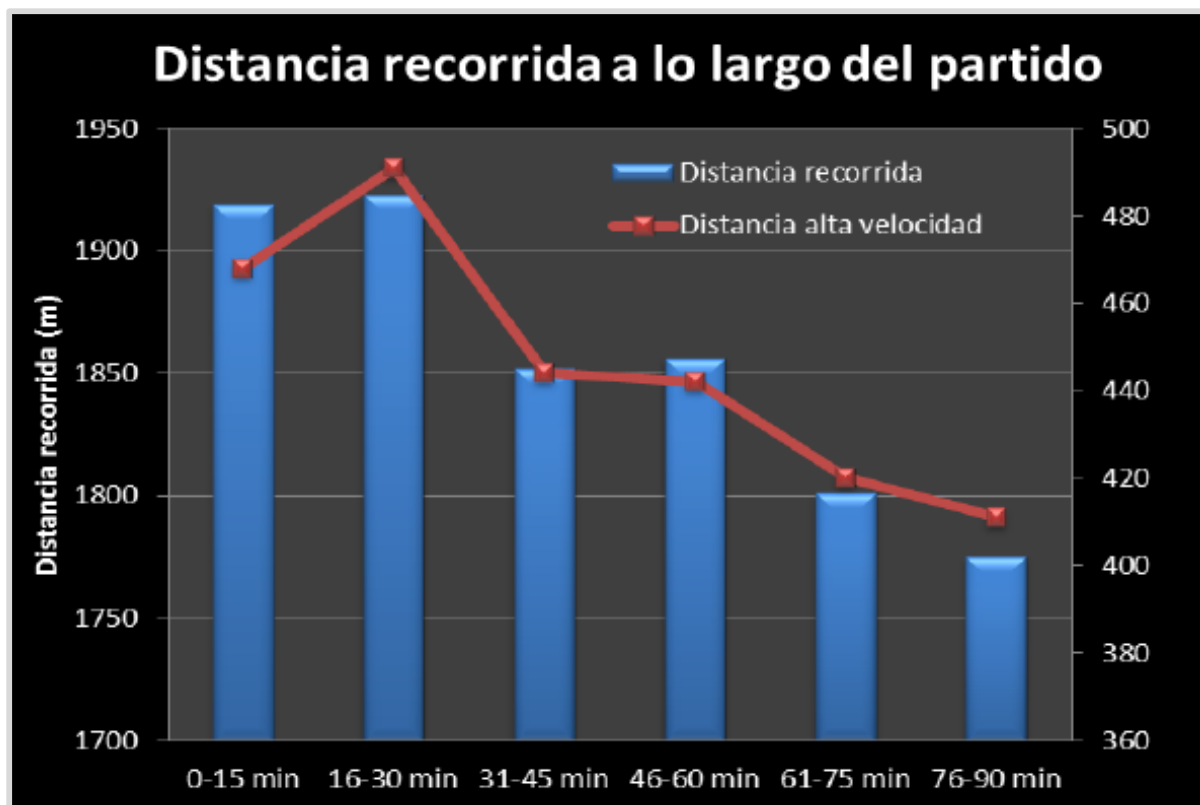
Figura 13. Correlación entre los valores de lactato sanguíneo y muscular en distintos tipos de esfuerzo. Los puntos negros representan valores de lactato durante un partido de fútbol, los puntos blancos durante un test continuo en bici y los triángulos durante un test de tipo Yo-Yo de recuperación intermitente



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la fatiga a largo plazo durante este tipo de esfuerzos está determinada por tres factores principales: la depleción de glucógeno muscular, la hipertermia y la deshidratación, siendo la primera de ellas la más común siempre y cuando se juegue en ambientes templados. Esta fatiga a largo plazo puede observarse en relación a la distancia total recorrida hacia el final del partido, así como la distancia recorrida a alta velocidad. En relación a las estrategias para prevenir este tipo de fatiga, se recomienda mantener un alto fitness aeróbico en los jugadores, así como llevar una dieta alta en carbohidratos y prevenir la deshidratación e hipertermia mediante el consumo de fluidos pre-ejercicio y el desarrollo de estrategias para combatir el calor.

Figura 14. Distancia total y a alta intensidad recorrida a lo largo del partido. Tomado de David Casamichana, 2014; adaptado de Carling, 2010



Fuente: Adaptado de <https://goo.gl/CnCKEu>.

3.2.3 Descripción de las demandas fisiológicas del fútbol y otros deportes de equipo

Perfil general de esfuerzo en deportes de equipo

Básquet y Rugby

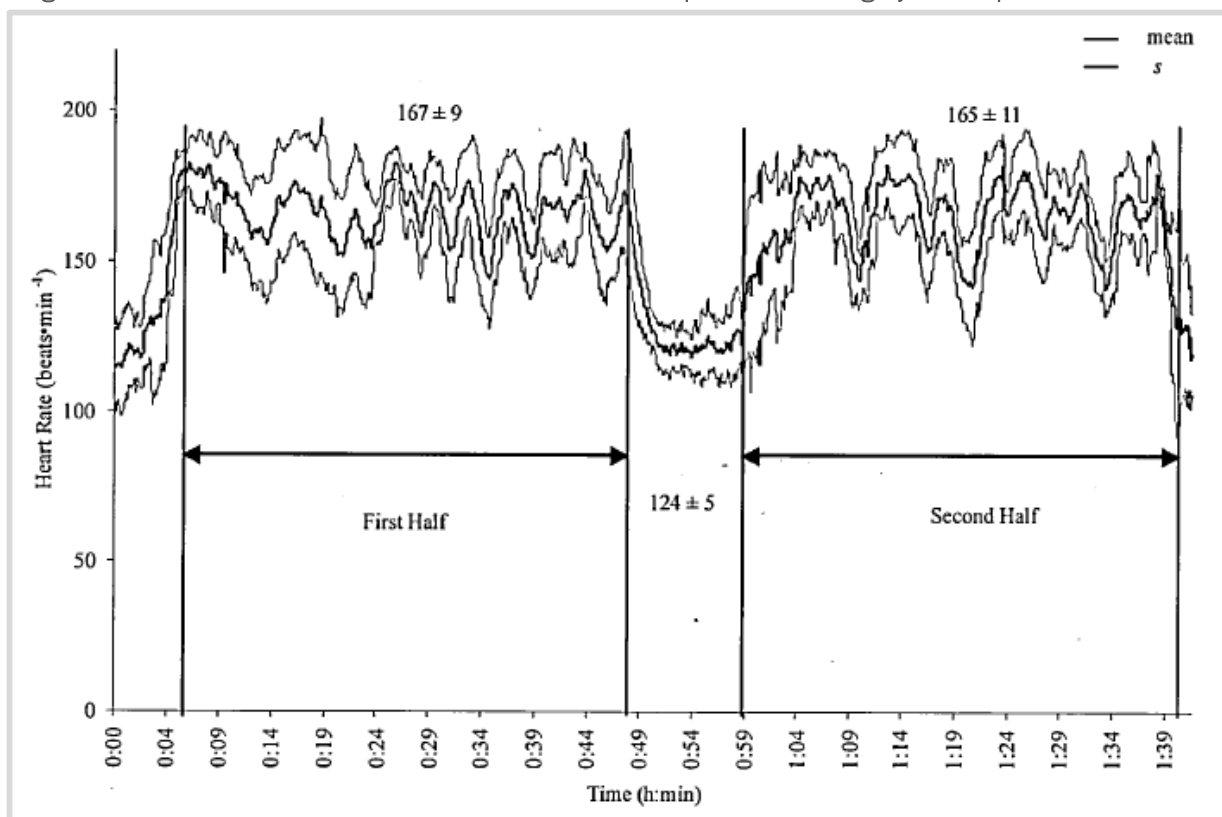
Las respuestas del sistema nervioso autónomo pueden proveernos de información muy útil sobre la adaptación funcional del organismo al ejercicio físico (Aubert, Seps y Beckers, 2003). El patrón de respuesta de la FC (frecuencia cardíaca) ante cambios en la intensidad durante un ejercicio de tipo continuo y uno de tipo intermitente es, sin embargo, notablemente diferente, lo cual puede conducir a adaptaciones diferenciales del sistema nervioso autónomo en deportistas que practican un tipo de deporte u otro (Ostojic et al., 2010).

Es deseable, por otro lado, conocer si en los deportes intermitentes la frecuencia cardíaca puede ser de utilidad como parámetro para valorar el perfil de esfuerzo. Ante esto, Ben Abdelkrim, Castagna, El Fazaa y El Ati (2010) han observado que la respuesta de la FC fue mayor en un grupo de jugadores de básquet de nivel internacional, con respecto a jugadores de nivel nacional. El mayor nivel de un grupo de deportistas puede, entonces, estar asociado a un mayor estrés cardiovascular y, por tanto, a una mayor respuesta de la FC. Estos autores concluyeron que la FC representa un índice de gran utilidad para valorar

el estrés global fisiológico durante un partido, aunque esta variable pueda estar fácilmente influenciada por otras, como la ansiedad o el estrés (Tumilty, 1993), el estatus nutricional y la temperatura (Gilman, 1996).

Cuando se valora el perfil de esfuerzo en grupos homogéneos, los resultados pueden ser contradictorios. Por ejemplo, en rugby, Coutts, Reaburn y Abt (2003) observaron que no hubo diferencias significativas en la FC media ni en el tiempo pasado, a moderada y alta intensidad, entre el primer y segundo tiempo de un partido semiprofesional. Sin embargo, Helgerud, Engen, Wisloff y Hoff (2001), en fútbol, observaron que el tiempo pasado a zonas más altas de FC era mayor en el primer tiempo, con respecto al segundo e incluso, esta respuesta se acentuó luego de un período de entrenamiento intervalado de alta intensidad de 8 semanas.

Figura 15. Frecuencia cardíaca media durante un partido de rugby semi-profesional



Fuente: Coutts et al., 2003.

Durante el juego, los basquetbolistas mantienen una frecuencia cardíaca (FC) media elevada, que va entre 165 y 180 pulsaciones/minuto (ppm), alcanzando en algunos momentos la FC máxima teórica (220 ppm–edad). Durante los momentos de pausas (pelota detenida) se observan valores de 150 ppm. Según McInnes et al. (1995), la media de FC durante el tiempo de juego fue de 168 ± 9 ppm (89 % de la FCmax.). En un 75 % de este tiempo se sobrepasó el 85% de la FCmax, mientras que el 50 % del tiempo de trabajo se realiza a una FC mayor al 90 % de la FCmax. Un 15 % del tiempo se permanece en FC cercanas a la máxima, es decir, por encima del 95 % de su FCmax. Los valores mencionados previamente responden al tiempo de trabajo, es decir los momentos en donde la pelota está en juego. Por otro lado, los valores mínimos se encontraron en los

tiros libres y en los tiempos muertos en donde la FC desciende a un 70-75 % y un 60 % de la FCmax. respectivamente.

La frecuencia cardíaca tiene un comportamiento intermitente, debido a los tiempos de juego que se manejan en esta disciplina, que son cortos y con pausas igualmente cortas.

En relación a esto, Barrios (2002), en un estudio realizado tras la observación de 10 partidos de la ACB y Copa del Rey en 2000 y 2001, contabilizó una media de 76.1 acciones frente a 72 pausas. Con el objetivo de la programación del entrenamiento y sus cargas, este es un dato a tener en cuenta. Las medias de tiempo fueron de 30,7 segundos para el juego y 33,4 segundos para las pausas. Esto establece que la densidad entre trabajo y pausa en el baloncesto es de 1:1. Este es un dato relevante para el manejo de las intermitencias en la construcción de los entrenamientos, sobre todo aquellos cuyo foco está en la resistencia. El 45.5 % de las acciones de juego duraron entre 1 y 20 segundos, y el 28 %, entre 21 y 40 segundos. Con respecto a la etiología de las pausas, según Barrios (2002), cerca del 57 % se deben a faltas personales.

En relación a la potencia aeróbica, la misma es menor que en otros deportes de predominio aeróbico. Por otra parte, dentro del mismo deporte, encontramos que los mayores niveles de $\dot{V}O_2$ se dan en los bases o guardias con 65.5 ml/kg.min contra 57.84 ml/kg.min en los aleros (McInnes et al., 1995). En relación a los niveles de lactato, McInnes (1995) encontró una media de 6.8 ± 2.8 mM/l dentro de la cual se encontraron valores de hasta 13.2 mM/l. Independientemente de estos valores medios, debemos aclarar que la contribución de la vía glucolítica, que es de donde proviene el lactato, varía considerablemente en función del momento del partido, así como entre partidos. Esto se da mayormente en competencias como la NBA, en donde se pueden jugar hasta 3 o 4 partidos por semana.

Con los cambios de reglamento, también vinieron las modificaciones en las prestaciones físicas. Por lo tanto, al acortarse el tiempo de posesión (de 30 a 24 segundos) aumentó el volumen de carrera debido al constante cambio de posesiones de balón. Moreno (1987) determinó que las distancias recorridas en competencia son de 6104 m para los bases, 5632 m para aleros y 5552 m para pivotes. A estos datos los completa apuntando las velocidades e intensidades a las que recorren estas distancias, concluyendo que la mayor cantidad de acciones, sin importar el puesto en el equipo, se realizan a velocidades entre 1 a 3 m/s.

Fútbol

“El fútbol, como deporte en campo grande, implica esfuerzos intermitentes de alta intensidad, es decir, acciones repetidas que implican trabajo: pausa y que son distribuidas de una forma acíclica durante todo el partido, solicitándose los sistemas energéticos aeróbico y anaeróbico conjuntamente (Bangsbo, Mohr, y Krstrup, 2006). En este sentido, se han reportado durante un partido de fútbol una tasa de entre 1000-1400 acciones de corta duración que cambian cada 3-5 segundos e involucran una amplia variedad de acciones con y sin balón como carrera a diferentes velocidades, fintas, entradas, cambios de dirección, aceleraciones, deceleraciones, saltos, disparos, carrera hacia atrás y lateral, equilibrios, disputas, duelos, entre otras acciones (Iaia, Rampinini, y Bangsbo, 2009; Mohr,



Krustrup, y Bangsbo, 2003), presentándose todas ellas de forma impredecible en función de las circunstancias del juego (Drust, Atkinson, y Reilly, 2007).” (Casamichana, 2014)

“Los jugadores de fútbol poseen una gran capacidad para realizar esfuerzos intensos de forma repetida (Bangsbo, Iaia, y Krustrup, 2008). Así mismo, se requiere del jugador desarrollos importantes de velocidad, fuerza muscular, potencia, agilidad y potencia aeróbica máxima mientras son demandadas, al mismo tiempo, gran número de habilidades técnicas y táctico-decisionales (Rampinini, Imperrizzeri, Castagna, Coutts, y Wisløff, 2009). El consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) medio de los jugadores de élite se aproxima a valores entre 55-70 mL/kg.min⁻¹, con valoraciones individuales por encima de 70 mL/kg.min⁻¹ (Davis, Brewer, y Atkin, 1992; Reilly, Bangsbo, y Franks, 2000; Wisløff, Helgerud, y Hoff, 1998), situándose el umbral anaeróbico en jugadores élite entre el 80-85% del VO_{2max} y 80-90% FC_{max} (Helgerud, Engen, Wisløff, y Hoff, 2001; Stølen, Chamari, Castagna, y Wisløff, 2005). Con respecto a la intensidad del juego, muchos estudios han evaluado la frecuencia cardiaca (FC) como un indicador de la intensidad en jugadores de diferente nivel, edad y sexo (Helgerud et al., 2001; Stroyer, Hansen, y Klausen, 2004). Ali y Farrally (1991), en jugadores semiprofesionales escoceses, determinaron valores de FC_{med} próximos a 172 ppm. Bangsbo (1994a), por su parte, describió valores de FC_{med} para jugadores daneses de 160 ppm y para jugadoras élite danesas de 170 ppm. Así mismo, en jugadoras profesionales suecas, Brewer y Davis (1994) obtuvieron valores de FC_{med} cercanos a 175 ppm. Mohr, Krustrup, Nybo, Nielsen, y Bangsbo (2004), observaron en jugadores de nivel regional durante partidos amistosos FC_{med} de 160 ppm. En base a estos datos, los valores de FC_{med} durante el juego podrían situarse en torno a 160-170 ppm, presentándose oscilaciones entre 160 y 190 ppm, por lo que es razonable pensar, que el sistema aeróbico es solicitado de forma prioritaria (90% de la energía consumida) durante los partidos (Bangsbo, 1994b), encontrado FC_{med} y FC_{max} de 85% y 98% de los valores máximos (Bangsbo et al., 2006; Krustrup, Mohr, Ellingsgaard, y Bangsbo, 2005), lo que advierte de la alta carga fisiológica que soportan los jugadores durante la competición.” (Casamichana, 2014)

“Por otra parte, a través de los valores de FC se puede estimar el VO_{2max} utilizando la relación entre FC y VO_{2max} durante un test en cinta rodante (Espósito, Impellizzeri, Margonato, Vanni, Pizzini, & Veicsteinas, 2004). Si se asume esta relación, la intensidad media de ejercicio durante el juego del 85% de la FC_{max} , correspondería a un consumo de oxígeno medio (VO_{2med}) próximo al 75% VO_{2max} durante el partido (Astrand, Rodahl, Dahl, y Strømme, 2003). Esto equivaldría a una media de VO_2 de 45.0, 48.8 y 52.5 mL/kg.min⁻¹ para un jugador con valores de VO_{2max} de 60, 65 y 70 mL/kg/min⁻¹, respectivamente y probablemente refleje el gasto energético en el fútbol moderno. Para un jugador de 75 kg, estos datos corresponden a 1519, 1645 y 1772 kcal gastadas durante el juego (1L oxígeno/min corresponde a 5 kcal), asumiendo los valores mencionados de 60, 65 y 70 mL/kg.min⁻¹ de VO_{2max} , respectivamente (Stølen et al., 2005), siendo las principales fuentes de energía el glucógeno muscular, glucosa sanguínea movilizada a partir del glucógeno hepático y los ácidos grasos (Bangsbo, 1994b). Se ha observado recientemente que después de un partido de fútbol pueden estar alterados algunos marcadores bioquímicos como la creatin kinasa, urea, ácido úrico, mioglobina o proteína C reactiva (Andersson, Raastad, Nilsson, Paulsen, Garthe, y Kadi, 2008; Ascensão, Rebelo, Oliviera, Marques, Pereira, & Magalhães, 2008), que reflejan la existencia de estrés metabólico y mecánico, activación del ciclo de las purinas y degradación de aminoácidos



(Brancaccio, Maffulli, y Limongelli, 2007). A pesar de todo ello, es probable que las mediciones de FC durante un partido conlleven a una sobreestimación del VO₂ debido a diversos factores como la deshidratación, hipertermia o estrés mental que podrían elevar la FC sin afectar a dicho parámetro (Bangsbo et al., 2006). Teniendo en cuenta estos factores, se sugiere que el VO₂med durante el juego podría situarse en torno al 70% del VO₂máx (Bangsbo et al., 2006). Esta estimación del VO₂ durante la competición es soportada por las mediciones de temperatura núcleo durante el juego (indicador indirecto de la producción energética), que son próximas a 39-40°C y que sugieren que la carga durante el partido se sitúa alrededor del 70% VO₂máx (Edwards y Clark, 2006; Mohr et al., 2004). Profundizando en el conocimiento del VO₂máx en el jugador de fútbol, diversos investigadores han concluido que los futbolistas con mayores valores de VO₂máx recorren mayor distancia total, realizan mayor actividad a alta intensidad, mayor número de sprints, participan en mayor número de acciones decisivas durante el juego y tienen una mejor recuperación entre esfuerzos de alta intensidad (Bangsbo y Mizuno, 1988; Chamari, Hachana, Kaouech, Jeddi, Moussa-Chamari,, y Wisløff, 2005; Hoff, 2005), además de tener una mayor movilización y utilización lipídica durante el juego lo que permite reservar el glucógeno muscular para acciones intensas y decisivas (Reilly y Thomas, 1979) y acumular menos lactato (LA).” (Casamichana, 2014) De manera indirecta, Gorostiaga (1993), a través de una revisión bibliográfica, concluye que los futbolistas de alto nivel deberían presentar valores de VO₂max corriendo, cercanos o superiores a los 65 ml/kg/min. Esto les permitiría mantener un ritmo medio de partido intenso y una capacidad de recuperación más importante.

“Aunque si bien es cierto que el metabolismo aeróbico es predominante durante el juego (Bangsbo, 1994), las acciones clave para el éxito en este deporte como sprints, saltos, duelos, disparos, disputas etc. son dependientes del metabolismo anaeróbico (Stølen et al., 2005), lo que resalta la importancia de los sistemas energéticos anaeróbico láctico y aláctico en la consecución del éxito en esta disciplina. Un jugador de élite realiza 150-250 breves acciones intensas durante el partido (Mohr et al., 2003), por ello, algunos autores han planteado que existe un alto ratio de degradación de fosfocreatina (25-30% por debajo de los valores de reposo) durante diferentes partes del juego (Bangsbo et al., 2006; Krusturup, Mohr, Steensberg, Bencke, Kjaer, & Bangsbo, 2006). Obviamente, los niveles de fosfocreatina (Pcr) son fundamentales para resintetizar Adenosín Trifosfato (ATP), sin embargo, la restauración de los depósitos de PCr son ampliamente dependientes del metabolismo aeróbico (Hoff y Helgerud, 2004). Glaister (2005) realizó una revisión de la capacidad de repetir sprints, propia de multitud de deportes intermitentes (bádminton, baloncesto, fútbol, etc.) en los que se repiten pequeños periodos de máxima o submáxima intensidad con periodos relativamente cortos de baja-moderada intensidad. Estudió las respuestas fisiológicas, los mecanismos de fatiga y la influencia del acondicionamiento aeróbico, concluyendo que la capacidad para mantener múltiples sprints depende de muchos factores, pero la disponibilidad de PCr y la acumulación intracelular de fósforo inorgánico (Pi) probablemente sean los más determinantes. Además, el hecho de que tanto la resíntesis de PCr como la eliminación de Pi (vía fosforilación del ADP) dependan de procesos aeróbicos, sugieren que los atletas más entrenados en resistencia podrían tener una mejor capacidad para mantener la intensidad en este tipo de esfuerzos. Para determinar la participación del metabolismo anaeróbico, se han estudiado las concentraciones de La sanguíneo antes, durante y después de los partidos. Las concentraciones de La- medias durante el juego han sido descritas entre 2-10 mmol·L⁻¹



con valoraciones individuales por encima de 12 mmol·L⁻¹ (Bangsbo, Nørregaard, y Thorsø, 1991; Krstrup et al., 2006), lo que sugiere que el sistema energético anaeróbico es altamente solicitado durante diferentes periodos intensos del juego (Mohr, Krstrup, y Bangsbo, 2005). A pesar de estos datos, es importante tener en cuenta que las valoraciones de La están fuertemente influenciadas por las actividades realizadas por el jugador en los 5 min anteriores a la recogida de la muestra (Stølen et al., 2005).” (Casamichana, 2014)

Parámetros lactatémicos en el fútbol

Según Bangsbo et al., en 1991, el problema de las mediciones del ácido láctico en los deportes colectivos es que los valores que se encuentran en sangre corresponden al esfuerzo realizado en los últimos 5 minutos previos a la toma de la muestra. Por lo tanto, no se puede determinar el producto energético del partido completo. Ante este planteo, Grosgeorge en 1990, fraccionó el partido de 90 minutos para poder realizar las tomas, y así, los resultados se muestran relativamente estables. Castellano, en 1996, encontró en jugadores amateurs los siguientes valores. Apenas finalizado el primer tiempo, un volumen medio de lactato de 7.3 mM/l. Previo al inicio del segundo tiempo, los niveles descendieron a una media de 4.40 mM/l. Al finalizar el segundo tiempo, los valores de ácido láctico en sangre fueron de 4.8 mM/l y 10 minutos después, se midieron 2.2 mM/l.

Yagûes (2002) plantea un concepto bastante claro al respecto de las contribuciones del metabolismo anaeróbico láctico. Por un lado, la dependencia de la utilización de este sistema en función del puesto de los jugadores en cancha. Altos niveles en los jugadores de banda, seguidos de los mediocampistas, siendo los defensores centrales los de menor utilización de este sistema. A pesar de que en ciertos momentos la concentración de lactato en sangre puede elevarse en los músculos activos, las constantes detenciones y fases de recuperación de media y baja intensidad que se manifiestan en el juego, permiten una rápida eliminación y reutilización de este y evitan una progresiva acumulación hasta valores limitantes.

Por último, a modo de conclusión, se han observado valores medios de 3.8 mM/l. Parece haber coincidencia en una menor concentración de lactato en sangre en el segundo tiempo. Esto presenta una cierta lógica, teniendo en cuenta que en las segundas mitades las distancias totales recorridas disminuyen, como así las acciones de alta intensidad.

Sustratos energéticos

A partir de la práctica de biopsias musculares en seis jugadores de la primera división sueca antes, durante y después de un partido se encontraron disminuciones importantes en las reservas musculares de glucógeno, inclusive en la primera parte. Al final del encuentro, los jugadores presentaron un vaciamiento de las reservas muy importante, ya que utilizaron entre el 60 % y el 90 % de las reservas iniciales. Por otro lado, se demostró que las mayores distancias fueron recorridas por los jugadores que contaban con mayores niveles de glucógeno muscular previo al inicio del juego. Sumado a esto, realizaron tiempos de carrera a máxima velocidad un 75 % mayor.



Los sustratos energéticos utilizados durante el juego están distribuidos de la siguiente manera:

- 70 % procedente de los hidratos de carbono;
- 20 % de las grasas;
- 10 % de las proteínas.

De los hidratos de carbono, el mayor porcentaje proviene del glucógeno muscular y solo una pequeña parte del glucógeno hepático (Bangsbo, 1994). También se observa que la concentración de ácidos grasos libres aumenta durante el partido, sobre todo en la segunda parte. En cuanto a la recuperación de las reservas musculares de glucógeno, se ha encontrado que cuando los futbolistas ingieren una dieta que contiene la proporción adecuada de hidratos de carbono (entre 40 y 50 %), a las 24 horas de acabar el partido, son todavía un 30-40 % inferiores a los valores encontrados antes del inicio del partido (Bangsbo, 1994).

Las reservas musculares de glucógeno todavía no se recuperan completamente a las 48 horas de haber terminado el partido (Jacobs, 1982). Con respecto a las fluctuaciones de la fosfocreatina, se realizó un análisis por medio de resonancia magnética durante tres períodos de ejercicio intermitente de dos minutos, que incluyó contracciones máximas, de baja intensidad y de recuperación, similares a las actividades del fútbol. Los niveles de PCr bajaban al 50 % del máximo, pero se restablecían casi totalmente al final de los períodos de dos minutos de ejercicio intermitente (Bangsbo, 1994).

Esto hace pensar que la contribución del sistema anaeróbico aláctico es muy importante y el ATP y la PCr posiblemente se estarán resintetizando continuamente en los períodos de baja intensidad para utilizarlos en gran medida en las fases de alta intensidad (Yagûes, 2002).

Distancia total recorrida

En la actualidad, la mayor parte de la bibliografía especializada coincide en que las distancias recorridas giran en torno a los 9 y 12 km, oscilando esta distancia para un mismo jugador, de un partido a otro, entre 2 y 3 km. La media se ubica sobre los 10 km.

Se han encontrado diferencias en función de la posición del campo que ocupan los jugadores. Los mediocampistas recorren entre 1/2 y 1 km más por partido que los defensores y los delanteros (Gorostiaga, 1993). Un mediocampista tiene una actividad global más importante, con carreras más largas. Los atacantes y defensores se caracterizan por las alternancias de reposo relativo y de numerosas acciones explosivas por sprint cortos (Pirnay, 1993).

Los datos expresados anteriormente hacen referencia a números totales, sin hacer diferencia de las modalidades bajo las cuales los deportistas cubren estas distancias. Pero no podemos dejar de destacar la importancia de la manera irregular e intermitente a la que se desplazan, con grandes cambios y velocidades y dirección.

Gorostiaga (1993) determinó los porcentajes de las intensidades bajo las cuales se recorren estas distancias.



- 55 % a 60 % caminando o parado, entre 40 y 54 minutos;
- 35 % a 40 % velocidad moderada (inferior a 15 km/h) de 31 a 35 minutos;
- 3 % a 6 % velocidad submáxima (entre 15 y 25 km/h) de 3 a 5 minutos;
- 0.4 % a 2 % máxima velocidad (+ de 25 km/h) de 22 a 170 segundos.

Por otro lado, los esfuerzos de máxima intensidad se realizan en distintas distancias recorridas:

- el 50 % en distancias menores a 12 metros;
- el 20 % en distancias de entre 12 y 20 metros;
- el 15 % en distancias entre los 20 y 30 metros;
- el 15 % en distancias entre los 20 y 30 metros.

El número de aceleraciones por partido, saliendo de parado o corriendo es de aproximadamente 130 (Smodlaka, 1978). Por otro lado, el número de cambios de ritmo durante un partido suele ser cercano a 1000 (Bangsbo, 1994).

Efectividad del tiempo de juego

Con este concepto, queremos hacer referencia al tiempo durante el cual el juego se mantiene activo y cuando se detiene. La medida de tiempo efectivo se sitúa en los 48 min. Esto equivale a un 54 % del tiempo reglamentario. Si lo dividimos en primer y segundo tiempo, la efectividad del tiempo de juego es del 57 % y 51 % respectivamente. Como valor a destacar, durante los primeros 15 minutos de partido es donde se da la mayor efectividad, que decae paulatinamente hasta el final del partido (Castelo, 1994).

Alrededor del 50 % de momentos en el fútbol, tanto de juego como de pausa, son de entre 0 y 15 segundos (Hernández 1996). Colli y colaboradores, obtuvieron datos que nunca publicaron, en donde el 51 % de las acciones duran menos de 20 segundos. Las pausas que van de 1 a 20 segundos suponen el 75 %, 44 veces por partido, del total.

Conclusiones

Como conclusión sobre las demandas mecánicas del fútbol, podemos aportar lo siguiente:

- Las distancias recorridas van de los 9 a los 12 km, con una variación de entre 2 y 3 km. La media se ubica sobre los 10 km.
- La media de tiempo efectivo de juego es aproximadamente 48 minutos y 39 segundos. Esto equivale al 54 % del tiempo total de partido.
- El jugador está parado o caminando entre 40 y 54 minutos. Entre 31 y 35 minutos está corriendo a menos de 15 km/h. Entre 3 y 5 minutos corre a una velocidad de entre 15 y 25 km/h. Solo corre a velocidades superiores a los 25 km/h durante un tiempo de entre 22 y 170 segundos.
- El 51 % de las acciones duran menos de 20 segundos. Mientras solo el 9.5 % dura más de 60 segundos.



- En cuanto al tiempo de pausa, se observa que la mayor cantidad dura entre 1 y 20 segundos y supone un 75 % del total de estas (cerca de 44 veces por partido).
- La densidad de juego (o protocolo de trabajo) oscila entre e 1:1.3 y 1:1.8. Es decir que las pausas son levemente más largas que el tiempo de trabajo.
- Por partido, se observan alrededor de 130 aceleraciones y cerca de 1000 cambios de ritmo.

Desde el aspecto fisiológico, las conclusiones son las siguientes:

- La frecuencia cardíaca oscila cerca de las 170 ppm de media, durante un partido. Durante 2/3 del tiempo de juego, se trabaja por encima del 85 % de la FC máxima.
- El consumo de oxígeno medio del juego es de 3.5 litros por minuto. Esto equivale a un 76 % del VO₂ máximo. Se presentan diferentes porcentajes del VO₂ en función del puesto ocupado: 69 % los defensores, 66 % los medios, 43.3 % los delanteros. El gasto energético total estimado es de 1530 kcal en los 90 minutos.
- Se encuentran valores de entre 3 y 8 mMol/l de lactato, y las variaciones individuales pueden oscilar entre los 2 y 12 mMol/l. Hay una menor concentración en la segunda parte, y la distancia total recorrida y las acciones de alta intensidad también disminuyen en este período.
- Aunque por momentos la concentración de lactato es elevada en músculos activos, las constantes fases de recuperación y los períodos de media y baja intensidad permiten una rápida eliminación y reutilización del lactato en sangre, lo que evita su acumulación hasta los valores limitantes.
- El glucógeno muscular tiene una importancia clave en el partido ya que se utiliza de modo predominante y se puede llegar a agotar precozmente.
- Se puede definir al fútbol como un deporte mixto en el que, a pesar de la larga duración del esfuerzo en el que el sistema aeróbico suministra constantemente energía, existe un gran número de acciones explosivas que requieren del aporte energético de las vías anaeróbicas.
- La participación del metabolismo anaeróbico aláctico durante el partido es muy importante cuantitativamente, porque es uno de los principales responsables de las acciones decisivas del partido (reflejado por la fuerza explosiva de los miembros inferiores y por las velocidades de los trayectos muy cortos).



Referencias

Abdelkrim, N. B., Chaouachi, A., Chamari, K., Chtara, M., & Castagna, C. (2010). Positional role and competitive-level differences in elite-level men's basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1346-1355.

Bangsbo, J. (1994). Physiological demands. In *Handbook of Sports Medicine and Science Football (soccer)*. Blackwell Publishing Ltd.

Bangsbo, J., Graham, T., Johansen, L., & Saltin, B. (1994). Muscle lactate metabolism in recovery from intense exhaustive exercise: impact of light exercise. *Journal of Applied Physiology*, 77(4), 1890-1895.

Bangsbo, J., & Michalsik, L. (2002). Assessment of the physiological capacity of elite soccer players. *Science and football IV*, 53-62.

Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24(07), 665-674.

Bangsbo, J. (2015). Performance in sports—With specific emphasis on the effect of intensified training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(S4), 88-99.

Bundle, M. W., Hoyt, R. W., & Weyand, P. G. (2003). High-speed running performance: a new approach to assessment and prediction. *Journal of Applied Physiology*, 95(5), 1955-1962.

Casamichana, D., & Castellano, J. (2010). Time–motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: Effects of pitch size. *Journal of sports sciences*, 28(14), 1615-1623.

Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., & Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 369-374.

Cairns, S. P., & Lindinger, M. I. (2008). Do multiple ionic interactions contribute to skeletal muscle fatigue?. *The Journal of physiology*, 586(17), 4039-4054.

Casas, A. (2009). Fisiología de los esfuerzos intermitentes aplicada a los deportes de conjunto.

Coutts, A. J., Rampinini, E., Marcora, S. M., Castagna, C., & Impellizzeri, F. M. (2009). Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 79-84.

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: case study. *Journal of Sports Sciences*, 21(2), 97-103.



Gabbett, T. (2016). The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*.

Gorostiaga, E. (1993). Bases científicas del fútbol. Aplicación al entrenamiento 1ª parte. *Cuadernos del entrenador*, 2801-2810.

Helgerud, J., Engen, L. C., Wisløff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1925-1931.

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F. M., & Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International journal of sports medicine*, 27(06), 483-492.

Iaia, F. M., Ermanno, R., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International journal of sports physiology and performance*, 4(3), 291-306.

Malone, S. (2017). The acute:chronic work load ratio in relation to injury risk in professional soccer *Journal of science and medicine in sport*.

Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21(7), 519-528.

McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J., & McKenna, M. J. (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *Journal of sports sciences*, 13(5), 387-397.

Mayhew, S. R., & Wenger, H. A. (1985). Time-motion analysis of professional soccer. *Journal of Human Movement Studies*, 11(1), 49-52.

Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of sports sciences*, 15(3), 257-263.

Ostojic, S. M., Markovic, G., Calleja-Gonzalez, J., Jakovljevic, D. G., Vucetic, V., & Stojanovic, M. D. (2010). Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in continuous versus intermittent endurance athletes. *European journal of applied physiology*, 108(5), 1055-1059.

Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Coutts, A. J., & Wisløff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: Effect of fatigue and competitive level. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 227-233.

Seirul-lo, F. (2003). Sistemas dinámicos y rendimiento en deportes de equipo. In 1st Meeting of Complex and Sport. INEFC-Barcelona.

Seirul-lo, F. (2003). Fundamentos del entrenamiento deportivo. Trabajo presentado en el I Curso de Preparación física en deportes de equipo, Junio, Cheste (Valencia).



Tumilty, D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports medicine*, 16(2), 80-96.

Vargas, F. S.-I. (2013). Estructura Cognitiva Sesiones formativas para entrenadores deportivos.

Vázquez, Á. (2015). Fútbol: del análisis del juego a la edición de informes técnicos. : MC Sports

