

La Fisiología del Fútbol

*- con Referencia Especial al
Ejercicio Intermitente Intenso*

El fútbol no es ciencia—
pero la ciencia puede mejorar
el nivel del fútbol.

Jens Bangsbo

Instituto August Krogh
Universidad de Copenhague
Universitetsparken 13
DK-2100 Copenhague
Dinamarca

Traducción y adaptación
Dr ARGEMÍ Ruben
Buenos Aires 1999

Resumen

La tesis del Dr Bango está basada en 14 artículos originales publicados en revistas internacionales y resumidas en esta revisión. La tesis se trata de las demandas fisiológicas del fútbol; con un enfoque particular en la respuesta fisiológica al ejercicio intenso repetido. En capítulo I se presentan los problemas específicos y en el capítulo II se discuten las demandas fisiológicas en el fútbol basado en los resultados de estudios realizados. El capítulo III contienen un corto estudio de los experimentos realizados para estudiar el metabolismo del músculo y la fatiga del músculo específicamente en intensas contracciones musculares repetidas. Con referencia a los temas cubiertos en capítulos II y III, fatiga durante un partido de fútbol se discute en capítulo IV y capítulo V se trata de aplicaciones para el entrenamiento físico en fútbol.

Se han realizado mediciones durante los partidos de fútbol y entrenamiento, así como en experimentos que simulan las actividades de un partido de fútbol. Se ha comparado la información obtenida en los resultados de estudios de la capacidad física de jugadores de fútbol de elite y de experimentos de laboratorio apuntados a investigar el metabolismo y fatiga en ejercicio intermitente. Estudios de cuerpo entero y en ejercicios de grupo musculares aislados se han realizado, el último principalmente con la aplicación de un modelo de extensión de rodilla. En los estudios en grupos musculares aislados, biopsias tomadas de músculos activos así como las muestras de sangre venosa, arterial y femoral han permitido análisis detallado del transporte iónico y metabolismo muscular. Además, la técnica de resonancia magnética se ha usado para la determinación continua de cambios en metabolitos y pH muscular durante el ejercicio intermitente.

El análisis de actividades durante los partidos de fútbol mostró que un jugador de fútbol de elite cubre una distancia media de aproximadamente 11 km durante un partido. La distancia difiere favorablemente entre jugadores y se relaciona en parte a la posición en un equipo. Jugadores de mediocampo corren a más baja velocidad que defensores y delanteros, considerando que ninguna diferencia parece existir entre los grupos al comparar la distancia cubierta a velocidad alta. La distancia cubierta a velocidad alta es el mismo en el comienzo como en el extremo de un partido. La distancia total cubierta por un jugador durante un partido de fútbol sólo es a una magnitud limitada una medida de las demandas fisiológicas en el jugador durante el partido. Además de correr, un jugador está comprometido en muchas otras actividades exigentes de energía, ej. asir, salta, acelera y se vuelve. Una evaluación más precisa de la demanda de energía total durante un partido de fútbol puede ser lograda realizando medidas fisiológicas en relación con los partidos de fútbol (I). Basado en mediciones de variables como frecuencia cardíaca y temperatura corporal, la demanda de energía relativa durante un partido de fútbol se estima en aproximadamente 70 % del consumo de oxígeno máximo. La producción de energía aeróbica suma a más del 90 % del consumo de energía total. Aunque la producción de energía anaeróbica es de importancia cuantitativa menor, juega un papel esencial durante un partido de fútbol. Durante un periodo de ejercicio intenso de un juego se utiliza fosfato de creatina (CP) y en menor grado el depósito de trifosfato de adenosina guardado (ATP). Se recuperan ambas variables en parte durante un periodo del reposo subsecuente. En muestras de sangres tomadas después de partidos de fútbol de elite la concentración de lactato promedia 3-8 mmol.l⁻¹ (I), y las determinaciones individuales exceden a menudo 10 mmol.l⁻¹ durante un partido. Los últimos valores indican que esa producción de lactato puede ser muy alta durante periodos de un partido. El glucógeno de músculos en funcionamiento parece ser el substrato más importante para la producción de energía durante un partido de fútbol. Sin embargo, también se usan triglicéridos del músculo, los ácidos grasos libres y glucosa de la sangre como substratos para el metabolismo oxidativo de los músculos.

Otra manera de obtener una impresión de las demandas fisiológicas en fútbol es determinando la capacidad física de jugadores de elite. El consumo de oxígeno máximo para jugadores de elite es aproximadamente 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹ para jugadores de mediocampo que tienen los más altos valores y defensores centrales y goleros que tienen los valores más bajos (II, IV). Igualmente, jugadores del mediocampo y defensas laterales tienen la capacidad de resistencia más alta determinada por concentraciones de lactato sanguíneo durante carrera

submaximal así como rendimiento en test de campo diseñado simulando actividades de fútbol. Por otro lado, jugadores del mediocampo tienen la fuerza muscular más baja tanto a velocidad de contracción baja como alta. La composición de tipo de fibra varía considerablemente tanto en gemelo como en músculos del muslo de jugadores de elite (II, IV). Es, sin embargo, evidente que los niveles de enzimas oxidativas del músculo son considerablemente más altos en jugadores de elite que en sujetos sedentarios.

Una serie de experimentos de laboratorio se han realizado para estudiar específicamente el metabolismo y la fatiga durante las contracciones musculares repetidas. Estudios anteriores han determinado la acumulación de metabolitos del músculo durante las varias formas de ejercicio de alta intensidad, pero pocas investigaciones han estudiado el intercambio de sustancias entre el músculo y la sangre durante y después de ejercicio estenuante. Así, fue considerado de importancia también caracterizar el metabolismo y transporte muscular durante el ejercicio intenso y durante el periodo de reposo subsecuente y, además, relacionar los eventos metabólicos con el trabajo realizado y a agotamiento. Esto se hizo posible determinando el flujo de sangre y las muestras de sangre colectivas de la arteria femoral y venosa durante y después de puntapié intenso en una pierna en extensión de rodilla. Se combinaron las mediciones obtenidas con resultado del análisis de biopsias del músculo tomadas antes y después de ejercicio de alta intensidad.

Una pregunta esencial en la fisiología del músculo es hasta qué punto el déficit de oxígeno es una expresión de la producción de energía anaeróbica durante el ejercicio y, además, cómo el déficit de oxígeno se relaciona a la deuda de oxígeno (consumo de oxígeno elevado post-ejercicio). Se observó que el déficit del oxígeno acumulado se relaciona estrechamente a la producción de energía anaeróbica, determinada de la medición metabólica, durante el ejercicio intenso de una pierna (V). La producción de energía anaeróbica puede considerarse en aproximadamente 45 % de la liberación total de energía durante tres min de ejercicio exhaustivo, y la producción de energía de la glucólisis que acaba en formación de lactato cubre aproximadamente el 70 % del rendimiento de energía anaeróbica total. Se observó que la capacidad muscular de liberar lactato es mucho más alta de lo sugerido previamente y sobre un tercio del lactato producido durante el ejercicio intenso de una pierna se encontró fue liberado a la sangre (V, VI, IX, XI). El flujo de lactato se relaciona estrechamente a la disminución de lactato muscular, pero también es asociado con otros factores como la concentración de lactato arterial. Se observó además que el flujo de H⁺ es más rápido que la liberación de lactato tanto durante y después de contracciones musculares intensas (X, XI). El glucógeno muscular elevado no influye en la tasa de producción de lactato y performance durante una sola serie de ejercicio de alta intensidad (IX). Por otro lado, la concentración de glucógeno muscular inicial parece afectar la performance durante el ejercicio intermitente (III, IX).

Se observó que la deuda del oxígeno después de ejercicio intenso exhaustivo es varias veces más alto que el déficit tanto del oxígeno acumulado y de la energía estimada necesitada para restablecer el equilibrio metabólico (VIII). Además, en contraste con lo sugerido anteriormente, se encontró que sólo una parte menor del lactato muscular acumulado durante el ejercicio intenso se convierte directamente a glucógeno muscular (VIII). Se documenta bien que la disminución en el lactato sanguíneo después de ejercicio de alta intensidad más pronunciada si ejercicio de baja intensidad se realiza. En un estudio de ejercicio de una pierna, se demostró que la actividad ligera en los músculos previamente ejercidos redujo la concentración muscular de lactato más rápidamente comparado a cuando el músculo estaba inactivo en la recuperación. Esta tasa de aumento más alta es el resultado de un metabolismo del lactato elevado dentro del músculo y no debido a una liberación más alta de lactato durante la recuperación activa (XI).

Durante el ejercicio intenso los músculos activos producen monofosfato de adenosina (AMP) y seguidamente el monofosfato de inosina (IMP) y amoníaco (NH₃; V, VII, IX, X, XII, XIII). La producción muscular de NH₃ durante el ejercicio intenso no siempre está en relación íntima con la disminución de nucleótidos de adenosina total o acumulación de IMP. Una parte menor de la diferencia puede ser explicada por una rotura extensa de AMP (vía adenosina) y IMP a hipoxantina (Hx; XIV). Una tasa de Hx producida se libera de los músculos a la sangre de lo que puede ser tomado por varios tejidos y puede convertirse a ácido úrico (UA; XIV). Hallazgos de elevadas concentraciones de NH₃, Hx y UA durante un partido de fútbol sugieren que

tantas reacciones de la Amp-deaminasa y las purina nucleosido fosforilasa pueden ser muy activadas durante los periodo de juego.

Se ha observado que la tasa de producción de lactato es significativamente baja cuando el ejercicio intenso se repite después de unos minutos de recuperación (X, XV). De la misma forma, parece que el flujo a través de la reacción de Amp-deaminasa está reducida, como se evidenció por una más baja acumulación de IMP y liberación de NH₃, cuando una serie de ejercicio de alta intensidad se realizó en un segundo etapa (X, XII). Estos cambios no parecen ser causados por una concentración de lactato muscular elevada (pH muscular bajo) previo a la segunda serie de ejercicio, de la misma forma, aunque menos pronunciado, se observaron alteraciones cuando el ejercicio intenso se repitió después de concentración de lactato muscular y pH muscular habían retornado a niveles de reposo (IX). Los resultados de varios estudios también indican que fatiga durante el ejercicio intenso no siempre es causado por una concentración de lactato muscular elevada y concomitantemente bajaron el pH muscular (VI, IX, X). Además, durante este tipo de ejercicio, la fatiga no parece ser debido a una producción de energía insuficiente (V IX, X). Se sugiere que la fatiga durante el ejercicio intenso sea asociada con acumulación de potasio en el fluido intersticial de los músculos activos. La acumulación de potasio también puede reducir la habilidad de desarrollar fuerza durante y en un periodo después de ejercicio de alta intensidad durante un partido de fútbol. Otro factor que puede causar fatiga hacia el final de un partido de fútbol es un nivel bajo de glucógeno del músculo.

En la presente tesis las demandas fisiológicas en fútbol han sido examinadas por investigaciones del partido y por estudios de producción de energía del músculo, transporte iónico, etc., durante el ejercicio intenso. Un jugador de fútbol de elite ejerce a una intensidad relativamente alta durante un partido que exige demandas fisiológicas altas en el jugador. Sin embargo; grandes variaciones individuales existen en las demandas fisiológicas que entre otras cosas se relacionan al rol táctico del jugador. La variación es verificada por el hallazgo de una diferencia pronunciada en la capacidad física de jugadores de elite. Un excepcional nivel de aptitud alto no es crucial para jugar a alto nivel, ya que el rendimiento en fútbol también es influenciado por las habilidades técnicas, tácticas y psicológicas de un jugador. De todas formas, parece importante que un jugador pueda ejercer repetidamente a una intensidad alta durante un partido del fútbol. Por consiguiente, parte del entrenamiento en fútbol debe apuntar a mejorar la capacidad de un jugador para ejercer a una alta intensidad y recuperarse del ejercicio intenso.