

I.INTRODUCCIÓN

Los deportes tradicionalmente se dividen en cíclicos y acíclicos. Estos últimos son en general los deportes con pelota, donde alternan diferentes tipos de movimientos en cuanto a intensidad, duración, frecuencia y características cinéticas. Esto llevó a muchos investigadores a realizar un análisis independiente de cada forma de movimiento. Y definiendolos energéticamente como aeróbico-anaeróbico alternado. Pero esta alternancia de sistemas metabólicos diferentes, ¿es la verdadera respuesta que el sistema bioenergético muscular presenta durante la resíntesis de ATP en la mayoría de los deportes con pelota?

En este tipo de deportes: el metabolismo celular se presenta como compartimentos que se suceden y alternan, o existen diferentes formas de interrelación de las vías metabólicas de restitución energética? La sucesión casi interminable de acciones cortas de intensidad relativamente alta del tenis lo convierte en un deporte aláctico donde la vía ATP-CP muestra formidable duración? Un jugador de fútbol, rugby, hockey etc. cuando realiza un movimiento de carrera a moderada intensidad su sistema metabólico cambia absolutamente su modelo energético? Es imposible en estas condiciones encontrar alguna forma de continiun energético? Se debe entrenar absolutamente por separado cada uno de los modelos de movimiento por intensidad, duración, etc.? Unicamente se puede aumentar los perfiles metabólicos y fisiológicos de trabajo con entrenamiento continuo e intervalado, dejando otros tipos de actividad para el perfeccionamiento técnico-táctico? Se puede explicar el entrenamiento durante competencias o juegos aplicativos de cada deporte específico desde la concepción fisiológica del entrenamiento intervalado?

En primer lugar analizaremos el perfil fisiológico de los deportes con pelota, luego las características del ejercicio intermitente y por último una aplicación hacia las necesidades fisiológicas del entrenamiento intermitente.

II: PERFIL FISIOLÓGICO DE DEPORTES ACÍCLICOS

1. Fútbol

Muchos investigadores han analizado el perfil del juego con conclusiones similares en cuanto a las observaciones obtenidas. Se producen entre 1000 y 1200 cambios de dirección y velocidad de carrera, con una duración de entre 4 y 6 segundos de cada actividad. Las intensidades varían, pero se encontró un número de carreras de moderada y alta intensidad relativamente baja. Las intensidades moderadas y altas de un partido representaron según su intensidad, velocidad de carrera moderada 5,3 %, velocidad alta 2.1 %, y velocidad máxima 0.7 % del tiempo total de juego. La duración media de carreras cortas era solo de 2 segundos lo que equivalía a 17 metros. El número de carreras de máxima velocidad era 19 correspondiendo a una cada 4-5 minutos, y la velocidad alta de carrera 1 cada 40 a 90 segundos. En término de tiempo entre carrera de alta velocidad, baja intensidad y parado-caminando la relación fue 1:4.3:7.1 respectivamente. Mientras la distancia recorrida con posesión de la pelota era de 1.7 % en promedio. Resumiendo en el fútbol las carreras intensas no superan los 5 segundos de actividad (raramente a velocidad máxima), con un periodo de recuperación de 30 segundos lo que sería lo suficiente largo. Todos los datos presentaron son promedio de acuerdo a diferentes investigadores (Bansgbo, Withers, Ekblon, Reilly, Thomas).

Si se analiza desde el punto de vista metabólico, se encontró que la Frecuencia cardíaca durante un partido fue entre 165 y 175 latidos por minuto, que correspondía a entre el 80% y el 85% de la Frecuencia Cardíaca Máxima. Relacionando la FC con el VO₂ máximo a través de estudios de laboratorio se calcula en un 75 % del VO₂ máximo. Si bien la relación entre FC y Vo₂ se altera ante contracciones estáticas de grupos musculares pequeños y bajo tensión emocional y cambios de temperatura, esta sobre estimación por estos factores sea probablemente baja en el fútbol por el reclutamiento de grandes masas musculares a alta intensidad.

La intensidad de la glucólisis anaerobia medida de acuerdo a la formación de lactato, es muy variable en partidos de fútbol y va desde valores de 3-4 mmol a 10-11 mmol de acuerdo al nivel de competencia. Aparentemente a medida que el nivel es mas desarrollado los niveles de lactato serían mas altos, aunque esta claro que la cantidad de lactato no solo depende de la producción sino también de la remoción. Durante el ejercicio intenso intermitente la duración suele ser muy corta como para producir un aumento considerable de lactato sanguíneo.

2.Tennis

Todas las mediciones realizadas como en cualquier deporte dependen de edad, nivel de competencia, superficie etc.

Un tenista tiene una participación neta de juego de alrededor de un 20 % del tiempo. Con un promedio general de frecuencia cardíaca a 68-70 % de la frecuencia cardíaca máxima mientras utiliza alrededor del 80-84 % de la frecuencia cardíaca máxima durante los momentos de actividad. Lo que equivale al 70-75 % del VO₂ máximo. El ácido láctico tomado al final de cada game estaba en un promedio de 5.8 mM y se correlacionaba con el control de frecuencia cardíaca de acuerdo a intensidad de movimientos observado en video-análisis.

En otros deportes de raqueta como badminton o squash el tiempo neto de ejercicio es mayor (50 %) y la frecuencia cardíaca promedio es de 80-85%de la máxima durante todo el período.

3.Rugby

En un estudio realizado por Deutsch en jugadores australianos sub 19 encontró gran variación entre puestos pero en promedio entre el 85-95% de la frecuencia cardíaca máxima ocupaban entre el 34 al 58 % del tiempo, entre 75-84% de la FC máxima entre el 20 al 38 % y menos del 75% entre el 5 y el 20% del tiempo. Recorrían una distancia de entre 4000 y 5750 metros por partido dividiendo caminando, velocidad y formaciones entre 1000-1780,106-340 y 54-475 respectivamente. El ácido láctico promedio era entre 4,67 y 7.22 mM.

III. EJERCICIO INTERMITENTE.

1. Introducción

El ejercicio intermitente implica momentos cortos de esfuerzo con o sin elemento, que rara vez alcanzan intensidades de carrera máxima. Presenta pausas que por lo menos tienen una relación entre 1:1y 1:2 con respecto al esfuerzo, pero que si se utiliza el elemento la pausa en general supera este tipo de relación. El ejercicio intermitente tiene características de respuesta metabólica que se diferencian a lo tradicional dentro de lo que es el esquema pedagógico de tres sistemas energéticos. (Alactásido, lactásido y aeróbico), clásicamente descrito para deportes cíclicos. De la interrelación de las diferentes formas de reconstitución de ATP surge un nuevo modelo de interpretar la bioenergética en el campo deportivo. Esta forma de interpretación intenta superar las

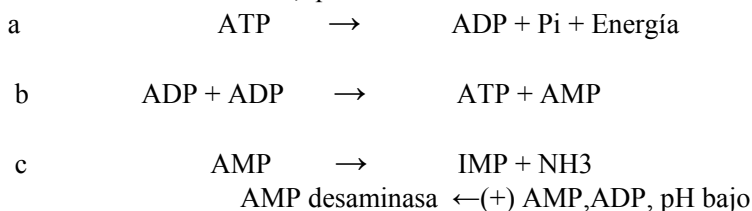
dificultades de las diferencias entre interpretación científica de los esfuerzos y su aplicabilidad al entrenamiento diario en el campo. El entrenamiento de resistencia intermitente por las características del juego con pelota es el que se asemeja al tipo de esfuerzo deportivo.

2. Bioenergética del ejercicio intermitente.

El músculo, como productor de energía cinética durante el movimiento, necesita obtener combustible que le permita generar su acción. Biológicamente en la práctica existe una sola sustancia capaz de entregarle esa energía que es el adenosín trifosfato (ATP). El ATP utilizado debe recuperarse inmediatamente para que la contracción muscular sea mantenida en el tiempo.

Al comienzo de un ejercicio el ATP degradado durante la contracción muscular, se resintetiza por hidrólisis (ruptura) de la fosfocreatina (PC) y glucólisis rápida o anaeróbica, hasta que después de un período variable de tiempo la fosforilación oxidativa (glucólisis lenta o lipólisis) se convierte en el mayor contribuyente de resíntesis de ATP.

La hidrólisis de ATP (adenosin trifosfato) genera ADP (difosfato) mas fosforo inorgánico (Pi), liberando energía utilizada para la contracción en este proceso. Luego de dos moléculas de ADP, se genera una nueva de ATP (utilizada para la contracción) mas una de AMP(monofosfato). Los aumentos de AMP y ADP son estimuladores de la enzima AMP desaminasa, que cataliza la transformación de AMP a IMP y NH₃. (Fig 1)



Comentario:

Fig 1: a. Hidrólisis de ATP. B. Síntesis de ATP a partir de ADP. Hidrólisis de AMP.

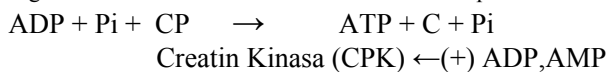
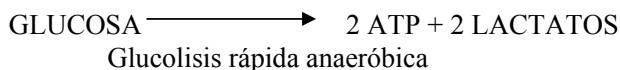


Fig 2 : Resíntesis de ATP a partir de CP.

Prácticamente al mismo tiempo que se inicia el ejercicio, el ATP es resintetizado a partir de CP, dejando por consiguiente una molécula de creatina y una de Pi. (Fig 2) Durante el ejercicio intenso el IMP se relaciona a la disminución de CP y acumulación de lactato, y se ha sugerido que la deficiencia energética con una mayor acumulación de IMP, es una gran causa de fatiga. (Fig 1,c)

Belstron plantea que a partir de los 2-3 segundos de ejercicio máximo la glucólisis aporta el 50 % de la resíntesis de ATP. Un rápido aumento de ADP estimula la hidrólisis de CP, que va disminuyendo rápidamente su tasa de resíntesis de ADP. Esto sería por una disminución en la disponibilidad de CP ya que la refosforilación mitocondrial de CP no es suficiente, haciendo hincapié que la resíntesis de CP depende exclusivamente de la fosforilación oxidativa. El calcio activador de la contracción mas los productos de hidrólisis del ATP (ADP,AMP, IMP, NH₃ y Pi) actúan como poderosos estimuladores de la glucólisis.(Fig 3)



IMP, NH₃

Fig 5: Reacción metabólica inhibidora-estimuladora de los metabolitos de AMP con o sin presencia de ácido láctico.

El metabolismo aeróbico y anaeróbico interactúan ya que tanto la función mitocondrial, la reacción mediada por CPK, y la glucogenólisis todas son sensibles a la relación utilización/resíntesis de ATP y sus metabolitos, AMP, IMP, NH₃.

3. Reguladores de consumo intramuscular de oxígeno durante la contracción.

Muchos factores actúan para regular el VO₂ y la glucólisis. Estos factores incluyen la presión parcial de oxígeno en la mitocondria (PO₂ mito) el estado de fosforilación celular, el estado celular redox, y la demanda metabólica (requerimiento de refosforilación de ADP).

Uno de los más convincentes mecanismo de control del consumo de oxígeno es el estado de fosforilación celular, en particular el flujo de ADP. Un aumento de ADP y AMP estimula un aumento en el consumo de oxígeno. Pero una reducción en el nivel de fosforilación puede llevar a alteraciones del sistema excitación-contracción y por lo tanto disminución de la demanda de oxígeno y fosforilación de ADP.

In vivo una disminución del estímulo a la respiración mitocondrial ocurre antes de alcanzar el máximo consumo de oxígeno. Recientes trabajos sugieren que la limitación ocurre a nivel del ciclo de Krebs.

La rápida acumulación de lactato durante las primeras fases de ejercicio con el consiguiente aumento de NADH actúa como un gran estimulador de la respiración mitocondrial. Para la misma carga de trabajo intermitente después de un breve entrenamiento hay una disminución de la producción de lactato y de la degradación de CP. Esto no estaría justificado por aumento de la densidad mitocondrial. Estos cambios reflejan una reducción de reclutamiento de unidades motoras (un aumento de control motor).

Un punto clave de la interacción entre metabolismo aeróbico y anaeróbico es la Piruvato deshidrogenasa (PSH), que media la reacción irreversible entre piruvato y acetyl CoA. Las formas activas y no activas de este complejo enzimático son reguladas básicamente por los flujos de NADH y acetyl coA que reflejan la disponibilidad de sustratos y de O₂. Si por la intensidad de ejercicio el NAD está altamente reducido (NADH) y no hay disponibilidad de la forma oxidada (NAD) para permitir la conversión de piruvato en grupos acetyl, parte del NADH es oxidado por el mismo piruvato que toma el H⁺ y se convierte en ácido láctico. De esta forma hay disponible NAD para la continuación de formación de grupos acetilos para el ciclo de KREBS. También necesita Coenzima A libre que tome los grupos acetilos. Una alta tasa de formación de grupos acetilo hace que sean absorbidos por la carnitina y se forme acetyl-carnitina para mantener una cantidad de coA que permita la continuación de Krebs.

Se ha demostrado que la activación de piruvato deshidrogenasa y la acumulación de sustrato oxidativo en forma de acetyl carnitina disminuye la degradación de PC durante ejercicio intenso. Al comienzo de ejercicio intenso hay una gran disminución de los niveles de acetyl carnitina, demostrando ser un pool aeróbico utilizable rápidamente durante una contracción intensa.

La reducción en la producción de trabajo durante series repetidas de ejercicio es menor que la reducción de producción de energía anaeróbica. Esto indica que en estos tipos de esfuerzos debe sobre estimarse la producción de energía aeróbica, siendo que la disponibilidad de sustrato antes del ejercicio es muy importante. La disponibilidad de grupos acetylos determina la contribución aeróbica y anaeróbica. (fig 6).

Según Bansgbo el músculo aislado necesita alrededor de 45 “ en llegar a la máxima extracción de O₂, y esto no tendría que ver con la disponibilidad de O₂ sino con la activación enzimática del ciclo de Krebs. Teniendo un rol fundamental como limitante de la utilización de O₂ de músculos aislados la actividad de la Piruvato deshidrogenasa y de la oxiglutarato deshidrogenasa.

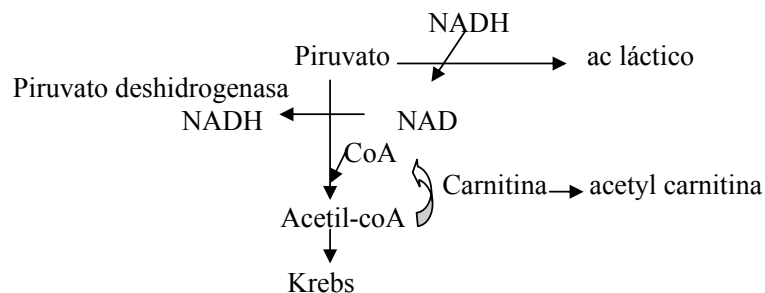


Fig: 6: Relación entre metabolismo aeróbico y anaeróbico en relación NAD-NADH y carnitina-acetylcarnitina

4. Series repetidas de ejercicio.

En series repetidas de ejercicio intenso a medida que aumenta el tiempo de ejercicio hay una importante disminución del metabolismo lactásido, con un aumento de la resíntesis aeróbica de ATP. Hay una gran cantidad de datos que así lo certifican.

En estudios de ejercicio intenso repetido de diez carreras máximas de 6 segundos, hubo una ruptura neta de ATP, CP y glucólisis del 4 %, 44% y 50 %, respectivamente, para la primera serie; mientras que para la décima serie fue de 4%, 80% y 16%. Se encontró alrededor de un 30 % menos de la producción de potencia con una disminución mucho más pronunciada de la tasa glucolítica y glucogenolítica, con un VO₂ ligeramente elevado que no alcanzaba a cubrir la disminución de la energía anaeróbica. Todos los datos coinciden en la idea de que en ejercicios repetidos intermitentes se produce una disminución de la tasa glucolítica a medida del avance de la actividad, que es independiente del glucógeno muscular y se relaciona con la actividad de CP. Esto es apoyado con hallazgos de ningún cambio o cambio mínimo en el pH muscular.

Hay una aparente disociación entre la contracción y los cambios en CP y glucogenólisis. Durante 4 series de 30 segundos con 4 minutos de pausa, la utilización de glucógeno muscular disminuye un 20 % en la tercera serie mientras el mantenimiento del trabajo se mantiene en el 60 %. La explicación sería un aumento del metabolismo oxidativo con una mejor utilización del glucógeno y un mantenimiento de la utilización de PC:

Durante un ejercicio donde se repitieron series exhaustivas de esfuerzos, como resultado del esfuerzo anterior estaba aumentado el consumo de oxígeno inicial en la recuperación activa con respecto al reposo, y la producción de energía anaeróbica era menor, inclusive los sujetos estaban exhaustos antes de utilizar la capacidad anaeróbica (Bansgbo-Saltin 1993)

El perfil metabólico de series repetidas de ejercicio depende parcialmente de la duración del tiempo de recuperación tanto como del tiempo de ejercicio. En ejercicio máximos de 6 segundos por 30 en bicicleta isocinética, el trabajo disminuye un 20 % mientras la degradación de CP un 40 % y la glucogenólisis también disminuye.

En ejercicios intermitentes habría una correlación significativa entre la resíntesis de CP y la performance subsiguiente. Se ha demostrado que en dos series de 30 segundos por 4 minutos, en las fibras tipo I el CP es resintetizado completamente mientras no ocurre lo mismo en las fibras tipo II. Durante series de alta intensidad la reducción de la glucogenólisis y la degradación de CP es parcialmente compensada por la mayor contribución de energía aeróbica. Esto se confirma con la menor acumulación de lactato en sucesivas contracciones. En el pasado esta contribución oxidativa de ATP durante este tipo de ejercicio no fue totalmente comprendida. La resíntesis aeróbica de ATP fue la mayor fuente de energía durante los últimos estadios del esfuerzo. La CP es fundamental en este proceso.

La disminución de la glucólisis no podría estar relacionada con un exceso de H^+ , ya que se necesitan valores de pH muy bajos in vivo para la disminución de la PFK, y aun hay disminución de la glucólisis con pH normal.

Hay un aumento de AMP, IMP, y NH_3 que son activadores de la PFK, pero habría un aumento de nucleótidos ligados lo que disminuiría por un lado la estimulación de la PFK, mientras se demostró un gran aumento de ADP lo que estaría condicionando una gran estimulación de la Creatin Kinasa y la utilización de CP.

También se encontró un aumento de citrato en el citosol relacionado a la mayor utilización de ácidos grasos que tendría un efecto inhibitor sobre la PFK y por lo tanto disminución de la glucólisis.

Mac Mahon encontró una relación significativa entre el VO_2 max y el porcentaje de disminución de la capacidad de trabajo en 5ta o 6ta serie de 15 segundos de trabajo máximo (90 seg pausa) con respecto a la serie 1, por lo que el máximo consumo de oxígeno y en particular el componente periférico es un determinante importante de la habilidad de realizar series repetidas de ejercicio y de la recuperación entre series.

5. Producción de Fatiga

Si bien se cree que la acumulación de ácido láctico y la disminución del pH son causa de fatiga, en ejercicios exhaustivos el pH y la concentración de ácido láctico varía entre los sujetos; además si se repite el ejercicio exhaustivo después de 2.5 minutos, la performance disminuye a concentraciones de ácido láctico menores y pH más alto, si bien la fuerza de contracción máxima se restaura después de dos minutos. Además cuando se repite el ejercicio intenso después de una hora de recuperación, disminuye la performance a pesar que el pH y el lactato estaban en valores de reposo al inicio del ejercicio. El agotamiento se produce a valores más bajos de ácido láctico.

Se ha sugerido que la fatiga podría estar relacionada a una capacidad disminuida de refosforilar el ADP.

La fatiga en el ejercicio intermitente prolongado ha sido asociada a depleción glucogénica. Pero se ha encontrado que fibras que presentaban alteración de la performance no habían llegado a nivel de agotamiento de glucógeno. Después de 1 hora de trabajo intermitente se ha encontrado por un lado una disminución del aporte de citrato y por lo tanto una disminución del ciclo de krebs, con un marcado disminución de CP y aumento de IMP. Incluso algunos estudios plantean una alteración del Sistema reticular con un nivel muy bajo de captación de Ca y esto se asocia a disminución de contracción voluntaria máxima y del tiempo medio de relajación.

5. Fosfocreatina como energía aeróbica en el ejercicio intermitente. (Paradoja Metabólica). Suplementacion

Solo aquellos que aumentaron su nivel de CP en un 25 % tuvieron mayor nivel de recuperación de CP posterior a esfuerzos máximos. El efecto estaría dado por una mayor resíntesis de ATP durante este tipo de esfuerzos. Inclusive con ingestión de CP disminuye el NH₃ y las hipoxantinas en sangre (marcador de pérdida de nucleótidos). También se ha demostrado la reducción de la pérdida de ATP en series subsiguientes de 30 segundos máximos. Encontrando básicamente un aumento de contenido de CP en fibras II con un aumento consiguiente de la resíntesis de ATP. En las fibras II la CPK mitocondrial depende de una buena cantidad de CP.

Como se planteó antes, durante series repetidas de ejercicio la resíntesis de ATP, depende del pool de CP, que es resíntetizado exclusivamente en la refosforilación aeróbica. El nivel de producción de ácido láctico dependerá del nivel de resíntesis de CP. Y este dependerá a su vez del pool de creatina, del nivel de puesta en marcha del sistema enzimático mitocondrial, y de la relación tiempo de esfuerzo, intensidad de este y tiempo de pausa.

Durante trabajos submáximos una tasa de regeneración de ATP es necesaria para mantener la función contráctil, y dentro de ciertos límites la demanda de ATP y su concentración es mantenida a expensas de los depósitos de CP.

Fig 7: mecanismos de transporte de energía aeróbica por CP.

Hay que recordar que todo el metabolismo aeróbico se produce dentro de una organela subcelular denominada mitocondria. Dentro de esta (donde penetra a través de un transportador específico el ácido pirúvico) se desarrolla tanto el ciclo de Krebs como la cadena transportadora de electrones, verdadera usina formadora de energía a través de la resíntesis de ATP. En el ciclo de Krebs el grupo acetylo se degrada en dióxido de carbono (CO₂), y H⁺ que reducen el NAD a NADH. La cadena transportadora de electrones es un proceso de varios pasos enzimáticos donde se va extrayendo lentamente la energía contenida en los H⁺ sintetizando ATP, y donde el último aceptor es el oxígeno, con la formación de agua.

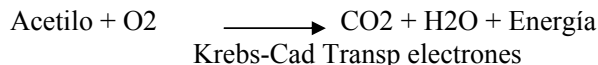


Fig 8: Ingreso de acetylos provenientes de glucosa para energía aeróbica

Pero este ATP formado dentro de la mitocondria es incapaz de traspasar la membrana hacia el citoplasma muscular que es donde se encuentran las proteínas contráctiles. Por lo que dentro de la mitocondria se cataboliza a ADP para esta energía liberada formar CP a partir de C y Pi. El CP formado es el transportador de energía hacia fuera de la mitocondria para resíntetizar ATP nuevamente cerca de las proteínas contráctiles y que este pueda ser utilizado en el proceso contráctil. Esto se produce durante todo el período de entrenamiento intermitente. Por eso la utilización de CP marca el máximo steady state posible de esfuerzo puramente aeróbico, donde sino no hay suficiente para la resíntesis de ATP se comienza a utilizar energía anaeróbica (glucólisis rápida).

Una de las formas de aumentar el pool de creatina es a través de su suplementación. Si aumentamos el ingreso de Creatina vamos a aumentar el nivel de resíntesis de CP durante ejercicio intermitente y por lo tanto aumentar la capacidad y potencia aeróbica durante este tipo de esfuerzo. Esto actúa como una paradoja metabólica, al funcionar la CP como un metabolito de utilización de energía aeróbica en ejercicios intermitentes.

Rico-Sanz plantea en un estudio rdbomizado en 14 hombres durante ejercicio con series alternantes de 3 minutos al 90 % por 3 minutos al 30 % de la máxima potencia de

trabajo. El grupo suplementado con creatina tuvo un aumento de alrededor del 10 % del consumo de oxígeno, una disminución significativa de ácido úrico y NH₃, y un aumento del tiempo de agotamiento de un 20 % en el grupo suplementado con respecto al grupo placebo. Relacionando estos hallazgos con un aumento de la fosforilación aeróbica y un mayor flujo del sistema de la CPK.

6. Tipo de fibras musculares y su respuesta al ejercicio intermitente

Aparentemente existe un continuum entre las fibras rápidas y las lentas. Las fibras rápidas presentan una rápida utilización de ATP anaeróbico con baja resistencia con una mayor cantidad de CP y presentan una mayor declinación de este durante ejercicios de fuerza repetidos.

La relación en la glucogenólisis en ejercicio intermitente (1.6 seg/1.6 seg) en ambos tipos de fibras es que mientras en las fibras rápidas la tasa es alta en cualquier condición, en las fibras lentas solo es alta en condiciones de oclusión del flujo en sprint, pero nunca alcanza la tasa de las fibras rápidas. Cuando los periodos de reposo disminuyeron a 0.8 seg o durante isquemia, la glucogenólisis aumentó debido a que la resíntesis de ATP no fue suficiente y el aumento de AMP estimuló la activación de fosforilasa y por lo tanto de glucólisis. Esto enfatiza la importancia del “duty cycle” que define la respuesta metabólica a la contracción, donde varía considerable a una tasa determinada de trabajo si se varía el tiempo de recuperación entre las sucesivas contracciones.

La recuperación de CP es básicamente dependiente del flujo de oxígeno. En las fibras I se produce un mayor recuperación de CP con respecto a las II, debido a su mayor metabolismo aeróbico. (Tesch)

En este mismo tipo de trabajo la degradación de CP se mantiene en las fibras I mientras disminuye en las tipo II. El ejercicio intermitente recluta en una mayor proporción las fibras II, pero con una tasa de oxidación de grasas similar al continuo a una intensidad mayor.

IV. ENTRENAMIENTO INTERMITENTE

Ya Astrand planteaba en 1960, que a las mismas intensidades de trabajo mientras en forma continua no se podía mantener el esfuerzo por más de unos pocos minutos, esta misma intensidad realizada en forma intermitente permitía ejercitarse a valores más bajos de ácido láctico en sangre y por tiempos prolongados inclusive a valores tan bajos como 2 mM (10 segundos de ejercicio por 20 de pausa). Dependiendo del tiempo de ejercicio y pausa los valores de ácido láctico son intermedios. Inclusive con un aumento del consumo máximo de oxígeno. Esto se debería a una mayor dilatación sanguínea, una gran utilización de la reserva de oxígeno unido a la mioglobina que a su vez se recupera durante los periodos de pausa.

La producción de ácido láctico y depleción glucogénica durante el intermitente fue mucho menor, mientras la oxidación grasa fue mucho mayor. Esto podría estar explicado por una contribución aeróbica más importante en el ejercicio intermitente por el oxígeno ligado a la Mioglobina y la Hemoglobina a la salida de cada serie.

Los niveles de lactato dependen tanto de la duración del ejercicio como de la pausa entre las repeticiones teniendo gran variación en la relación 15/15 con respecto al 15/30, y 10/10,20/20 con respecto a 30/30 y 60/60, las diferencias se relacionaron con diferencias en la concentración de CP.

Doderty planteo que en ejercicios intermitente a una velocidad promedio entre velocidad de VO₂ max y velocidad umbral anaeróbico obtenida de test progresivo

incremental. Durante ejercicio intermitente se alcanzó valores mayores de VO₂ máximo y a menores niveles de ácido láctico en sangre.

En otro estudio Christmas vió que a niveles de alrededor del 70% de VO₂ máximo, comparando ejercicio intermitente entre series de 6''/9'' y 24''/36'', en la segunda forma tuvieron tres veces menos de oxidación de grasas, 1/3 mas de oxidación de carbohidratos, un 62 % mas de ácido láctico en sangre, con mayores concentraciones de piruvato(40 %) y menores de glicerol (25%).

2.Evaluación y prescripción de ejercicio Intermitente.

Hay muchos modelos de prescripción y formas de evaluación de ejercicio intermitente. Citaremos algunos que creemos que son de mayor nivel de correlación con la prescripción de ejercicio intermitente.

En primer lugar muchos investigadores han demostrado que no se puede prescribir actividad intermitente en campo a partir de mediciones de laboratorio. Algunos profesionales prescriben intensidades a partir de porcentajes de velocidad en tests máximos para la distancia propuesta para el entrenamiento. El porcentaje de la máxima velocidad para ser utilizada como resistencia aeróbica intermitente es muy variable de acuerdo a características fisiológicas de los jugadores. Aquellos deportistas de características explosivos deberían manejar porcentajes menores que aquellos de características de resistente o fibras lentas. Este tipo de porcentajes son útiles para entrenamientos intervalados de velocidad pero no de resistencia intermitente.

El ejercicio intermitente se puede planificar a partir de muchos tests de campo aeróbicos (Cooper, 1000 metros etc), pero hoy existen test específicos para su desarrollo.

3.YoYo Test

El Dr Bangsbo en el Instituto August Krol de Dinamarca ha desarrollado una serie de tests de características intermitentes que se basan en test de velocidad progresiva donde esta aumenta cada minuto. El deportista recorre una distancia de 20 metros ubicada entre dos conos, en ida y vuelta permanente. La velocidad que debe desarrollar es marcada por una cinta de audio que a través de un bip indica en que momento el atleta debe llegar hasta cada cono, frenar y volver inmediatamente hasta el cono opuesto. El Dr. Bangsbo diseñó tres tests. El YoYo de Resistencia donde el deportista realiza el movimiento ininterrumpido de ida y vuelta, aumentando la velocidad por minuto como se lo indica la cinta audible. El YoYo de Resistencia intermitente tiene característica similares a la anterior, solo que cada 40 metros (20 de ida y 20 de vuelta) el deportista espera en la línea de salida 5 segundos, convirtiendolo en un ejercicio intermitente, con pausas completas intermedias simulando las pausas del juego. Por último, el YoYo de recuperación intermitente similar al anterior con pausas de 10 segundos cada 40 metros. Debido a que el aumento de velocidad producido por la cinta audible es mucho mas rápido, se convierte en un test de características anaeróbicas. Estos tests a diferencia de los tests de campo tradicionales, no presentan una intensidad de esfuerzo constante. Aumentan la intensidad, y el atleta recorre metabólicamente todas las áreas funcionales. Esto hace importante que se pueda evaluar a lo largo de todo el esfuerzo. Por eso es indispensable la utilización de monitores de ritmo cardíaco que nos permiten observar desde la frecuencia cardíaca en que momento aparece una dificultad para resolver el esfuerzo. En esta intensidad hacia abajo será el área a trabajar para mejorar los aspectos de resistencia aeróbica.

La planificación del ejercicio intermitente se puede realizar de dos maneras. A partir de la medición de la velocidad desarrollada en la etapa final. Obteniendo la velocidad en metros por segundo, (ej. 4 m/seg), se la lleva entre el 100 % y el 130 % (4 - 5.2 m/s) y

se planifica de allí la distancia para 10 o 15 segundos. (para 10 segundos entre 40-52 metros). Otra forma es a través de la curva de frecuencia cardíaca, donde podemos detectar el quiebre de la misma o en que momento se dispara. Esa será el área donde deberemos realizar gran volumen de trabajo intermitente.

Fig 9: Curva de frecuencia cardíaca en YoYo test. (Polar)

Una de las alternativas que utilizamos es realizar un test de intensidad progresiva en campo (TIPEC). Para ello se construye una pista de 200 metros marcada con conos cada 20 metros y utilizando el cassette del yoyo test de resistencia, le pedimos al deportista que acompañe cada cono con el bip de la cinta audible. Va a presentar un aumento de velocidad cada minuto, pero eliminando el componente neuromuscular del freno y arranque continuo del yoyo. Grabando la frecuencia cardíaca en cualquiera de los Monitores Polar® de la línea profesional (Xtrainer, Vantage, Accurex, Coach), podremos incorporar al sistema informático a través de la interface accurex o vantage, la curva total de frecuencia cardíaca realizada durante el test, además de marcar automáticamente la FC al final de cada etapa. De esta forma a través del método de Conconi, podremos obtener dos intensidades de trabajo, umbral anaeróbico por quiebre de FC y velocidad final.

En futbolistas juveniles (datos no publicados) se realizó exámenes en tres días diferentes separados cada uno durante 48 hs. El primer día se realizó test incremental en treadmill de comenzando a 6 millas por hora y aumentando 0.4 millas cada minuto hasta agotamiento (test de Conconi modificado). Se evaluó frecuencia cardíaca (monitor de FC Polar® Vantage NV, accurex y Xtrainer plus)), al final de cada etapa y ácido láctico a 7.2 m/h, 8.4m/h , 10m/h e inmediatamente final. Las mismas evaluaciones se realizaron en pasadas de 6 minutos a esas mismas tres velocidades, durante el segundo día. Se correlacionó punto de quiebre de frecuencia cardíaca con curva de ácido láctico en las dos condiciones. (fig 10)

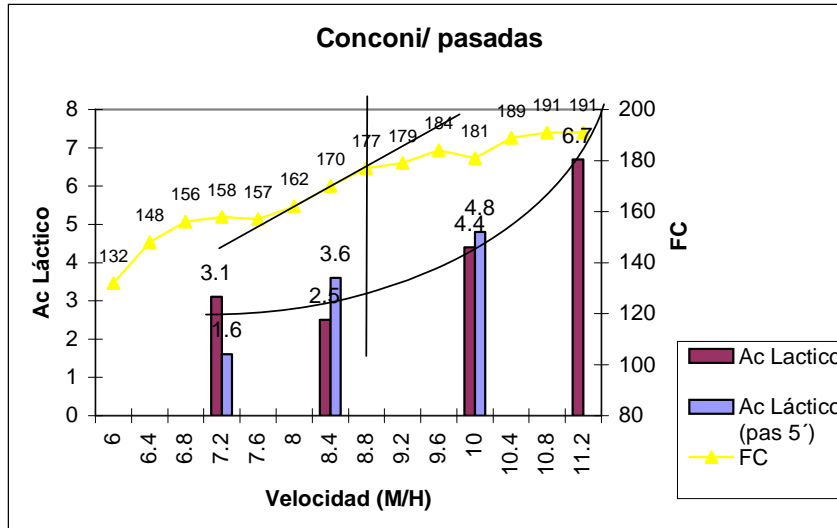


Fig 10: Medición de frecuencia en test progresivo en treadmill, con monitoreo de frecuencia cardíaca, y ácido láctico. Las barras celestes marcan ácido a la misma velocidad en pasadas continuas en futbolista juvenil.

Durante el tercer día se evaluó el ejercicio intermitente. Después del mismo protocolo de entrada en calor de los días anteriores, (15 minutos de trote mas tres series de 50 metros al 90 % por 150 metros al 50 %, 5 minutos de trote y elongación final), se realizó ejercicio intermitente durante series de 6 minutos. La intensidad se prescribió según el test incremental. La primer serie a velocidad baja (8 m/h) 10 segundos de trabajo por 10 segundos de pausa; segunda serie a velocidad umbral 10/10 (8.8 m/h); tercer serie velocidad final (11.2 M/h) 10/10, cuarta a la misma velocidad 30/30 y quinta a la misma velocidad 60/60. En ejercicio intermitente presentó menores valores de ácido láctico para las mismas velocidades de ácido láctico en continuo y de aumento progresivo. En la medida que progresaba el ejercicio iba tolerando mayores tasa de esfuerzo (en intensidad y duración del ejercicio) con niveles de ácido láctico que no aumentaban proporcionalmente.

La correlación frecuencia cardíaca se mantuvo por debajo de la observada para el quiebre de la curva según el método Conconi, mientras que el ácido láctico no superó el valor teórico de los 4 mmol excepto al comienzo del esfuerzo, donde el ácido láctico en general aumento mas allá de niveles supuesto por percepción subjetiva de esfuerzo, frecuencia cardíaca o nivel de intensidad. (Fig 11)

La prescripción de ejercicio intermitente se puede realizar utilizando la capacidad máxima de trabajo en cualquiera de los yoyo tests, o utilizando velocidades del test de intensidad progresiva en campo (TIPeC). Por las características de los tests intermitente, y debido a su compromiso neuromuscular estos tests son ideales para prescribir intensidad de trabajo con pelota utilizando un porcentaje de la velocidad máxima utilizada durante el tests. (En general entre el 100 y el 130 % de su máxima velocidad). En el caso del TIpEC es muy útil la velocidad delta 50%(vd50) que es la velocidad promedio entre la velocidad en el umbral anaeróbico por FC y la final.

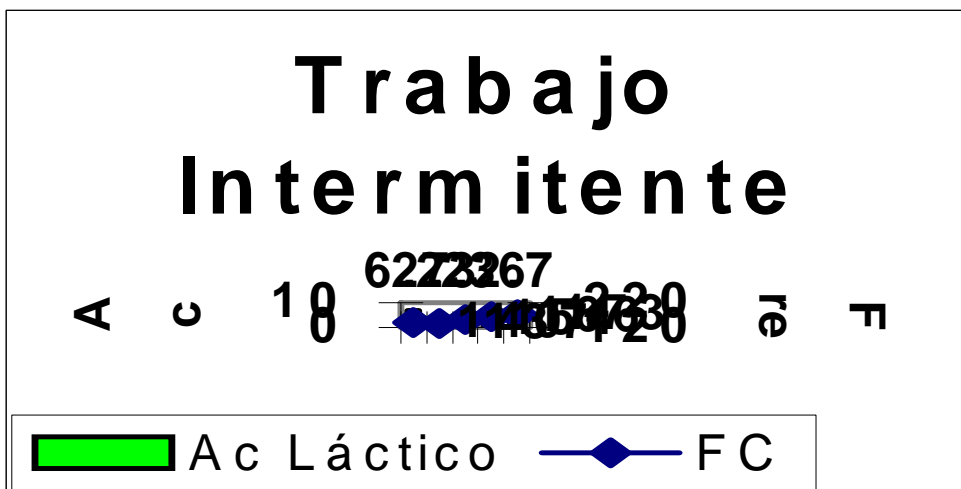


Fig 10: Medición de FC y acido láctico en ejercicio intenso en futbolista juvenil
 Fig 11: Fc cardíaca medida en Monitor Polar vantage durante TIpEC en jugador de futbol profesional.

Utilizando esta metodología se realizó TIpEC en campo en jugadores de fútbol profesional. Se obtuvo la vd50 y se planificó 6 series de trabajo de intensidad y duración que aumentaban progresivamente. Ier serie 10 segundos de trabajo por 20 de pausa a una

intensidad igual a la vd50. 2da 10/10 a la misma velocidad. 3era 15/15 a la misma velocidad. Se realizó una macropausa y después 3 series mas respetando el mismo tiempo de esfuerzo y pausa, pero a una velocidad igual al 120 % de la velocidad vd50. Divididos en tres grupo cada uno desarrolló la velocidad planificada para cada grupo en series de 6 minutos.

Fig 12: Fc cardíaca medida en Monitor Polar vantage durante ejercicio intermitente en jugador de futbol profesional.

Para mejor comprensión se desarrolla un ejemplo.

Es un jugador profesional de fútbol internacional donde en el TIPeC desarrolló una intensidad máxima de 3,92 m/seg (se detuvo en el estadio del YoYO de resistencia) y una velocidad umbral de 4,58 m/seg (estadio del yoyo de resistencia). El promedio de velocidad fue m/seg. Por lo que se planificó 6 series de 10"/20", 10"/10", 15"/15", y nuevamente 10"/20", 10"/10", 15"/15", recorriendo 42 metros, 42 m, 63 m, 50m, 50m, 75 m respectivamente en cada serie. En las figuras 11 y 12 se presenta la grabación de la FC tanto del test como del ejercicio. Observe como se delimita el trabajo aeróbico de baja intensidad de las primeras tres series y el trabajo aeróbico de alta intensidad de las últimas tres.

4.Control del ejercicio intermitente

Gullstrand en un trabajo intermitente de 15"/15" concluyó que en entrenamiento de remo en todas las series de trabajo tanto el consumo de oxígeno, la frecuencia cardíaca y el ácido láctico en sangre se mantuvieron constantes en un 78, 89 y 32 % de su nivel máximo respectivamente.

En este tipo de trabajo el control de Frecuencia cardíaca con monitores Polar®, fue de gran utilidad para el control de las intensidades de ejercicio. Se correspondió tanto con aumento de intensidades, con percepción subjetiva del esfuerzo, y a medida que el trabajo fue aumentando de duración también lo hizo con el ácido láctico en sangre. En nuestra experiencia el ácido láctico presentó gran variabilidad intraindividual en las primeras etapas del esfuerzo, como interindividual al final de todos los tests. No hubo correlación entre el ácido láctico final de cualquiera de los tests y la capacidad de trabajo en ejercicio intermitente.

Rieu planteaba que la relación entre la concentración de lactato/intensidad de ejercicio, para la mayor parte de un ejercicio parece representar la acumulación de lactato en las primeras etapas de un ejercicio intermitente progresivo.

Bangso demostró que en ejercicio intermitente de 10 y 15 segundos a diferentes tasas de trabajo, la frecuencia cardíaca presentó igual correlación con el Vo2 máximo que en trabajo continuo.

Un parrafo a parte requiere el análisis de trabajos denominados de transferencia de fuerza o de potencia, o de estímulos neuromusculares. Hoy son muy utilizado los trabajos considerados como circuitos de potencia (trineos, potencia en arena, vallas, "pliometría baja" etc.). Este tipo de trabajo también podrían considerarse metabólicamente como intermitente. Pero por sus características de compromiso neuromuscular deben considerarse tiempos de ejercicio menor, no superior a 7-8 segundos con mayores tiempos de pausa (1:3, 1:4). La frecuencia cardíaca es también útil para el control de este tipo de esfuerzos. Se recomienda alcanzar menores niveles de frecuencia cardíaca en este tipo de ejercicios.

Fig 13: Fc cardíaca medida en Monitor Polar vantage durante ejercicio de circuito de potencia en jugador de futbol profesional.

V. CONCLUSIONES

1. El trabajo intermitente, por las características del esfuerzo, es el tipo de trabajo que mas se asemeja a los deportes denominados acíclicos o con pelota.
2. El trabajo intermitente requiere un análisis particular de los sistemas metabólicos. En primer lugar por la interrelación permanente de los diferentes sistemas de resíntesis de ATP. En segundo lugar porque el fosfato de Creatina actúa básicamente como un transportador de energía aeróbica. En tercer lugar porque los sistemas metabólicos no actúan en forma de steady state sino que presentan gran variación con respecto al tiempo de puesta en juego del esfuerzo.
3. La acción metabólica entre fatiga y estímulo esta separada por un delgado limite. El AMP, IMP, NH₃ y Pi actúan como poderosos estimulante metabólicos. Estos mismos metabolitos, (básicamente el IMP y NH₃) en presencia de medio ácido (los H⁺ provenientes del ácido láctico) actúan como potentes inhibidores del metabolismo muscular. En concreto el esfuerzo intermitente debe llegar a los niveles de catabolismo de ATP, en ADP, AMP y este en IMP y NH₃, si a estos niveles estimuladores de la glucólisis se suma un aumento del ácido láctico se produce una inhibición de la misma.
4. Durante muchos años preparadores físicos y fisiólogos del fútbol quisimos encontrar las “pasadas de 400 con pelota”. Probablemente fue un esfuerzo en vano. El ejercicio intermitente es el tipo de trabajo que mejor se adapta al elemento, y es probablemente lo que muchos hacían sin saber sus principios fisiológicos. El elemento exige al jugador la máxima precisión y si se supera la exigencia tolerable, el jugador automáticamente disminuye la intensidad para “acomodarse” a su necesidad técnica. Por lo que es mas difícil que presente lesiones por exceso de trabajo, ya que no debe responder a las exigencias de un cronómetro (a veces demasiado para él) sino a las exigencias de su “cronómetro biológico”.
5. Para muchos se hace difícil diferenciar el trabajo de resistencia intermitente del trabajo de velocidad o de resistencia a la velocidad intervalado (inclusive a muchos investigadores que definen como intermitente trabajos máximos). En primer lugar el trabajo intermitente nunca desarrolla intensidades máximas. El trabajo intermitente cuando finaliza el estímulo esta en condiciones de continuar el ejercicio a esa intensidad. Los tiempos de recuperación no superan al doble del esfuerzo (a veces los trabajos con pelota por su planificación la otorgan mas tiempo).
6. El trabajo intermitente no solo permite sino que exige mayores volúmenes de trabajo. Es probable que entrenamientos menores de 90 minutos produzcan a mediano plazo disminución de la capacidad y potencia aeróbica. Tenemos datos que trabajos de este tipo pero de poco volumen, después de 18 meses disminuyó las capacidades aeróbicas en jugadores profesionales entre un 30 y 40 %. Por lo que creemos que el trabajo intermitente requiere de participar de entrenamientos de duración no menor de 90 minutos sin contar entrada en calor y recuperación. Puede ser combinado con otros tipos de trabajos.
7. El ejercicio intermitente requiere estímulos de intensidad y duración crecientes a lo largo de la misma sesión de entrenamiento. La puesta en marcha de su complejo

sistema metabólico requiere de un tiempo superior al de la entrada en calor. Estímulos que producirían fatiga en poco tiempo al inicio del entrenamiento se realizan con escaso esfuerzo al final. Pero de producirse esas altas intensidades al comienzo producirían gran aumento del nivel de H⁺ en el músculo con la inhibición del sistema enzimático aeróbico.

8. El ejercicio intermitente requiere mayor tiempo de ejecución para desarrollar la capacidad y potencia aeróbica que el ejercicio intervalado.
9. La frecuencia cardíaca es un excelente indicador de esfuerzo para el control del ejercicio intermitente.
10. El ejercicio intermitente recluta mayor número de fibras rápidas.
11. La planificación de distancia en trabajos con pelota, o trabajos de potencia (arena, trineos, vallas, aros etc.) requiere de evaluaciones que comprometan capacidades neuromusculares, como los yoyo tests.
12. No existe ningún método de entrenamiento que reemplace a todos los otros. Por lo tanto el ejercicio intermitente debe complementarse con entrenamientos continuos e intervalados de acuerdo a criterio de cada entrenador a lo largo de los diferentes macrociclos de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Bangso. Muscle oxygen uptake in humans at onset of and during intense exercise. *Acta Physiol Scand*.2000,168:457-64.
- Bangso y co. Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*.2000 279:R869-R906
- Bangso j. La Fisiología del Fútbol, con especial referencia al ejercicio intermitente. Copenhague 1993.
- Begstrom y co. Energy cost and fatigue during intermittent electrical stimulation on human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 65, 1500-1505.
- Brookss-Fahey. *Fundamentals of Human Performance*.1987. Ed Macmillan.
- Christmass. Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999. 80:436-47.
- Christmas and co. Exercise intensity and metabolic response in single tennis. *J Sports Sci*. 1998. 16:739-47.
- Demari et co. Time limit and time at VO₂max during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness*. 2000.40:96-102.)
- Deutsch y co. Heart Rate, Blood lactate and kinematic data of elite colts (sub19) Rugby Union players during competition. *J Sports Sci*. 1998. 16:561:70.
- Doderty. A comparison of heart Rate response in racket games. *Br J Sports Med*. 1982. 16,96-100.
- Eklom . *Applied physiology of soccer*. *Sports Med* 3,50-60.
- Greenhaff et al. Interaction between aerobic y anaerobic metabolism during intense muscle contraction. *Exercise and sports sciences reviews*. Vol 26,1:30.
- Mcahon y co. The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J Sci med sport*.1998.1:219-27.

McArdle-Katch-Katch. Exercise Physiology. Ed Lippincott Williams & Wilkins. 1996.

Reilly. 1993. The physiological profile of the soccer player. Fkblom. Soccei. BC in press.

Rico-Sanz y co. Creatine enhances oxygen uptake and performance during alternating intensity exercise.

Rieu y co. Blood lactate during submaximal exercises. Comparission between intermittent incremental exercise and isolated exercises. Eur J Appl Physiol Ocup Physiol. 1989,59:73-9.

Shepard-Astrand. La resisencia en el Deporte. ed paidotribo. 8-11.

Sekal. Comparission of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. Int J Ssports Med. 2000.21:242-9.

Tesch y co. Fosfocreatina en Tipos de fibra del músculo esquelético, antes y después de ejercicio intenso. JAP 66,1756:1759)

Thomas y co. 1976. Application of motion analysis to asses performance in competitive football. ergonomics, 19,530.

Withers y co. Match analysis of Australian profesional soccer players. J Hum Mov Stud 8,159-176