

Condicionantes fisiológicos del rendimiento aeróbico (adaptado de MacDougall y Sale, Can. J. Appl. Spt. Sci., 1981)

Ricardo Mora Rodríguez.

Introducción

Durante años los deportistas y entrenadores han discutido sobre la superioridad del entrenamiento continuo o del interválico para obtener mejoras en el rendimiento deportivo. La pregunta pues es, cuál de los dos tipos de entrenamiento es el más eficiente para preparar al atleta de resistencia para la competición. La respuesta es que ambos tipos de entrenamiento son necesarios aunque para distintos aspectos. Para entender cuando utilizar el entrenamiento interválico hemos de conocer algo de las bases de la fisiología del ejercicio.

Factores limitantes del consumo de oxígeno

En deportes donde el tiempo de ejercicio excede los 2 minutos y medio el factor limitante del rendimiento es la capacidad de los músculos para generar ATP oxidando carbohidratos y grasas. Este proceso de oxidación está limitado por el ritmo en el cual las moléculas de oxígeno pueden proceder a través de la mitocondria (cadena de electrones). El consumo de oxígeno depende del ritmo al cual se le provee a la fibra muscular (saturación de la Hgb, flujo, densidad mitocondrial) y del ritmo al cual el músculo puede extraer ese oxígeno (factor periférico). Estudios donde se entrena una pierna y otra no en el mismo sujeto revelan que el incremento en el consumo de oxígeno en la pierna entrenada se debe a que el entrenamiento posibilita a la pierna entrenada a recibir más flujo (50% de la mejora) y también a que esos músculos entrenados extraen más oxígeno (50% de la mejora; Scheuer y Tipton, 1977).

Bases del ejercicio Interválico

La base sobre la cual se sustenta el entrenamiento interválico es que al intercalar periodos de descanso entre cargas de trabajo intensas se puede realizar más cantidad de trabajo total en comparación a realizar la misma carga sin fraccionarla. Por ejemplo, un atleta entrenado puede realizar ejercicio a una intensidad del 100% del VO_{2max} (velocidad del 5000 en atletismo) durante 10 minutos antes de que la fatiga le haga parar. Si trabajase 2-3 minutos intercalados con 2-3 minutos de descanso sería capaz de mantener este trabajo 3 veces más, es decir durante 1 hora antes de llegar al mismo estado de fatiga (Astrand y Rodahl, 1979). Si el trabajo lo fraccionamos en duraciones de trabajo de 30 segundos al 100% del VO_{2max} el trabajo se podría prolongar por encima de 1 hora. Series de trabajo tan cortas no son suficientes para implicar la capacidad oxidativa del músculo (1/2 tiempo de respuesta de la mitocondria son 20 segundos). Con este tipo de series cortas estamos suministrando la energía requerida durante el ejercicio del sistema aeróbico al de fosfatos de alta energía y a la mioglobina muscular, fuentes que pueden ser recuperadas en 30 segundos de manera parcial. Parece ser que durante esas recuperaciones las enzimas oxidativas se adaptan y se consiguen mejoras en estas y en el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}).

La siguiente es una tabla resumen de estudios realizando entrenamiento interválico y sus consecuencias en encimas aeróbicas y el VO₂max.

Table 1. The effects of sprint interval training on skeletal muscle oxidative markers and cycling endurance performance.

Reference	n	Intensity (% VO ₂ max)	Interval (sec)	Recovery (min)	Bouts per session	Duration of training (# sessions x week)	*Results (% change)
MacDougall (1998)	12 males	all out maximal	30	2.5-4.0	4 to 10	3 x 7	CS=36, SDH=65 MDH=29, VO ₂ max=7.5
Pilegaard (1998)	7 males	single leg all out maximal	30-60	2	2 to 3	3.5 x 8	HAD=7
Stephens (1999)	4 trained males	175%	30	4.5	12	2 x 3	40 km TT=2.4
Rodas (2000)	5 males	all out maximal	15-30	0.75-12	4 to 14	7 x 2	CS=38, HAD=60 SKM glycogen=32 VO ₂ max=11 VO ₂ maxP=10
Parra (2000)	5 males	all out maximal	15-30	0.75-12	4 to 14	2-3 x 6	CS=28, HAD=39
Laursen (2002)	10 trained males	175%	30	4.5	12	2 x 4	VO ₂ max=3, VO ₂ maxP=3 40 km TT=4.4
Burgomaster (2005)	6 males 2 females	all out maximal	30	4	4 to 7	3 x 2	CS=38, SKM glycogen=26 80%VO ₂ max EC=100
Marcuello (2005)	6 trained males	110%	300-480	60	3	1 x 1	mtDNA/nDNA= -16

* p ≤ 0.05 level of significance; citrate synthase, CS; succinate dehydrogenase, SDH; malate dehydrogenase, MDH; β-hydroxyacyl dehydrogenase, HAD; maximum oxygen consumption, VO₂max; maximum oxygen consumption power, VO₂max P; 40km time trial performance, 40km TT; skeletal muscle glycogen content, SKM glycogen; Endurance capacity at 80% of VO₂max, 80%VO₂maxEC; mitochondrial DNA and nuclear DNA content ratio, mtDNA/nDNA

ENTRENAMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DEL OXIGENO (FACTOR PERIFÉRICO)

Teóricamente para mejorar la capacidad de los músculos para extraer el oxígeno que les llega por la circulación una o todas las siguientes adaptaciones tendrían que darse:

- incrementar la densidad capilar (Brodal et al., 1977).
- incremento en la concentración de mioglobina (Pattengale y Holloszy, 1975)
- incremento en la actividad o densidad de las mitocondrias (Holloszy, 1975; Hoppeler et al., 1973).

Todas estas adaptaciones se producen con el entrenamiento pero los mecanismos que estimulan estas adaptaciones (tipo de entrenamiento) no están claras.

¿Es hipoxia un factor?

Hay fisiólogos que atribuyen estas adaptaciones a una reducción en los niveles de oxígeno en el músculo. Sus conclusiones se basan en estudios que indican que la exposición crónica a altitud resulta en un incremento en los niveles de mioglobina (Reynafarje, 1967) densidad capilar (Cassin et al, 1966) y actividad de las enzimas mitocondriales. Incluso la exposición intermitente a hipoxia resulta en una reducción en la cantidad de lactato a una carga constante (Bason et al., 1973).

El ejercicio al 70% del VO_{2max} resulta en una tensión de oxígeno en el músculo del 51% de lo que se tendría en el reposo. Ejercicio al 100% del VO_{2max} resultaría en tensiones del 2% aunque aumentar la intensidad del ejercicio hasta el 125% no conduciría al músculo a menores tensiones de oxígeno. Si es la cantidad de hipoxia en el músculo lo que estimula a los cambios estructurales (capilares, mitocondria) y químicos (actividad de las enzimas) es evidente que cargas de trabajo al 100% del VO_{2max} son las más efectivas. Si la carga de trabajo excede esta intensidad el estímulo de hipoxia no parece ser mayor y sin embargo el volumen de trabajo tolerado es menor.

Entrenamiento Intervalico

Por lo tanto la intensidad óptima para esta forma de entrenamiento interválico para la resistencia será del 90-100% del VO_{2max} del atleta durante 2-3 minutos con 2-3 minutos de recuperación activa de baja intensidad. Para que las adaptaciones bioquímicas y estructurales se den en los músculos donde se pretende este entrenamiento ha de ser específico (el nadador debe nadar, el remero deber remar, etc.). Entrenando interválico a intensidades menores (70% del VO_{2max}) probablemente no se genera suficiente estímulo hipóxico (reducción en la tensión de oxígeno en el músculo) para inducir las adaptaciones. Además a estas intensidades las fibras rápidas no se reclutan (comienzan al 90% del VO_{2max} ; Gollnick y cols., 1975) y por lo tanto no se entrenan estas fibras. Una manera de conocer si la intensidad es suficiente es medir las pulsaciones después de una serie de trabajo. Las pulsaciones durante los 15 segundos tras el esfuerzo no deberían de bajar de más de 3-5 latidos de la frecuencia cardiaca máxima. Si la frecuencia es máxima y no baja a 100-120 latidos/min al final del periodo de recuperación activa entonces la intensidad es demasiado alta.

ENTRENAMIENTO DEL APORTE DE OXÍGENO (COMPONENTE CENTRAL)

Los factores fisiológicos que determinan la habilidad de un deportista para transportar oxígeno al músculo son; a) la capacidad pulmonar para difundir oxígeno a la sangre, b) la concentración y saturación de la hemoglobina, y c) el flujo de sangre. Como los dos primeros factores no son diferentes entre sedentarios y deportistas se acepta que el factor más importante que determina el transporte de oxígeno es el flujo de sangre (gasto cardiaco en L/min). El gasto cardiaco es el producto del volumen sistólico y la frecuencia cardiaca y como la frecuencia cardiaca máxima no se incrementa con el entrenamiento las mejoras en gasto cardiaco máximo con el entrenamiento son debidas a un aumento en el volumen sistólico. Este aumento está ligado a la hipertrofia cardiaca y a un aumento en la contractilidad (habilidad para contraerse).

Mejorar el volumen sistólico

Podríamos pensar que el corazón es como un bíceps. Sobrecargándolo conseguiríamos un aumento en su tamaño y fuerza. La magnitud de la carga en el bíceps es el peso que levanta y el número de repeticiones. En el caso del corazón la carga de trabajo esta determinada por el volumen sistólico y por la presión arterial que debe de vencer para que la sangre salga por la aorta. En personas no muy entrenadas el volumen sistólico es casi-máximo a intensidades de ejercicio bajas (50% del VO_2max). La presión arterial sube con la intensidad del ejercicio pero se hace máxima aproximadamente al 70-80% del VO_2max (Ellestad, 1975). Por lo tanto la fuerza contráctil que el corazón tiene que ejercer es probablemente máxima a intensidades del 75% del VO_2max . El número de latidos (duración del ejercicio) nos dará el volumen del entrenamiento del corazón. Si aceptamos que el método mejor para entrenar el corazón es la mínima carga que le haga trabajar a la mayor tensión el mas tiempo posible, entonces el ejercicio continuo al 75% del VO_2max sería el idóneo. A intensidades mayores no habría muchas ganancias en tensión contráctil y la duración total de las sesiones sería menor debido a la fatiga. Si se usa entrenamiento interválico de la misma intensidad, el tiempo de ejercicio se prolongaría mucho para alcanzar el mismo número de latidos que con el entrenamiento continuo puesto que durante la recuperación la frecuencia cardiaca disminuye rápidamente.

Entrenamiento continuo

Teóricamente, la forma mas efectiva de entrenar para conseguir mejorar el transporte de oxígeno (adaptar la musculatura cardiaca) sería entrenamiento continuo que solicite una gran masa muscular a una intensidad de aproximadamente 75% del VO_2max . La intensidad del ejercicio se deberá ajustar para que sea la del umbral anaeróbico del deportista. Si se excede este umbral la lactacidosis provocaría fatiga y reduciría la duración del entrenamiento. A una intensidad justo por debajo del umbral anaeróbico los deportistas pueden entrenar hasta 60 minutos sin incurrir en gran fatiga.

Aunque puede ser recomendable que este tipo de entrenamiento sea específico al movimiento deportivo, este principio de especificidad no es tan importante puesto que el entrenamiento que se pretende es del corazón. Esto permite al deportista incorporar una variedad de ejercicios a su rutina para entrenar este factor central (correr, nadar, pedalear, esquí de fondo, patinaje en línea, etc...).

Se podría utilizar la frecuencia cardiaca de reserva para conseguir que el deportista pudiese saber si está entrenando a la intensidad correcta.

Frec. Cardiaca entrenamiento continuo = $F.Cd \text{ reposo} + 75\% (F.Cd \text{ máxima} - F. Cd \text{ reposo})$. No para todos los deportistas su umbral anaeróbico se situará al 75% del VO_2max y por lo tanto esto tendrá que ser evaluado en un laboratorio. Sin embargo, el deportista experimentado sabe reconocer este umbral basándose en la intensidad de ejercicio donde el ritmo de ventilación sube de manera abrupta.

Equilibrio entre el entrenamiento continuo e interválico

Antes de decidir como combinar los 2 tipos de entrenamiento durante una temporada hay que resaltar 2 aspectos:

- 1) Cuesta mucho menos mantener que obtener las adaptaciones que estos tipos de entrenamientos provocan. Esto sobre todo se aplica al entrenamiento continuo y en menor medida al interválico. El VO_{2max} de los nadadores fluctúa si lo medimos en la piscina durante la temporada (pre-temporada a competición) pero no varía si lo medimos en un tapiz rodante (Holmer, 1974). Esto quiere decir que las adaptaciones locales (conseguidas con el entrenamiento interválico) se pierden rápidamente mientras que las centrales (conseguidas con el continuo) se conservan mas tiempo.
- 2) Desgraciadamente no se puede entrenar siempre interválico específico al movimiento deportivo puesto que estos entrenamientos desgastan los almacenes de glucógeno y estos tardan hasta 48 horas en recuperarse.

La óptima combinación de estos dos métodos de entrenamiento de resistencia dependerá del nivel inicial de forma física y del objetivo del deportista.

Entrenamiento para elevar el umbral anaeróbico

El rendimiento de resistencia no solo esta influenciado por el nivel de VO_{2max} del deportista sino de manera mas importante por el umbral anaeróbico (Farrell y cols., 1979). Hay algunos entrenadores que opinan que el entrenamiento continuo de larga duración es el método más efectivo de elevar este umbral (Davis y cols, 1979). La evidencia indirecta para esto es que se ha encontrado que los maratonianos y atletas de 10.000 tienen umbrales mas altos que los corredores de 1.500 siendo estos últimos los que hacen menos continuo y más entrenamiento interválico.

Sin embargo hay otros científicos del ejercicio que opinan que el método mas efectivo de elevar el umbral es mejorando el potencial del músculo para extraer y oxidar. De esta manera los deportistas podrían hacer ejercicio a un mayor porcentaje del VO_{2max} sin acumular ácido láctico. Estos cambios son probablemente producidos utilizando el entrenamiento interválico pues parece que reduce la cantidad de lactato a una carga determinada. Por último, no está claro si el entrenamiento interválico podría aumentar la capacidad taponadora del músculo o de la sangre a los hidrogeniones disociados del acido láctico.