

# Ejercicio Intermitente: análisis histórico-fisiológico.

Prof. Scarfó, Ricardo Luis (UNLP)



## Introducción

Esta es una serie de publicaciones acerca del fenómeno del ejercicio intermitente donde se intentará ofrecer la más amplia información científica existente acerca de este contenido del entrenamiento deportivo moderno. Para tal fin, se repasará el surgimiento de dicha metodología de entrenamiento con su delimitación conceptual, sus pre-requisitos históricos y sus comienzos. Se detallarán con amplitud los estudios científicos ‘clásicos’ que describen tal ejercicio y sus particulares acontecimientos fisiológicos que ocurren durante el mismo, y sus implicancias hasta el día de hoy. También, se analizarán conceptos actuales que rodean a dicha temática, tanto en su aspecto teórico como en su puesta en práctica.

En esta primera entrega, se tratará el surgimiento de esta metodología y el análisis histórico de ese surgimiento.

### Primera aproximación

En la bibliografía existente, y a lo largo de los años, se ha utilizado el concepto de ‘ejercicio intermitente’ de varias maneras. Muchas veces, en forma no muy clara y hasta confusa. Para lo cual, es muy importante establecer una definición que describa en forma real el fenómeno ‘intermitente’ de este tipo de esfuerzo físico. Para ello, la que más se acerca es la del sueco Per-Olof Åstrand (1,13) quién define al ejercicio intermitente como *breves explosiones de ejercicio intensivo con una duración inferior a un minuto*. Como se puede observar, en esta corta y simple definición, se desprende el carácter ‘explosivo’ del esfuerzo, es decir, denota una alta intensidad de trabajo, pero a la vez, no se hace mención alguna acerca de las pausas de recuperación en estos esfuerzos intermitentes. Para complementar a esta definición, se puede citar a M.C. Christmas (2), quién define al ejercicio intermitente a un tipo de esfuerzo compuesto de períodos frecuentes de trabajo intenso seguidos por períodos de recuperación menos intensos. Respecto al tiempo de pausa del ejercicio intermitente, R. Colli (3), propone pausas menores de 30” para que dicho parámetro sea considerado intermitente. También, G.P. Millet (4) menciona que el entrenamiento intermitente implica esfuerzos de corta duración ( $\leq$  a 30”) y a realizarse a velocidad de  $VO_{2máx}$ . En esta misma línea también se encuentra Billat V. (11,5,14,15).

Hasta aquí, sólo se ha intentado delimitar algunos parámetros claves dentro del concepto de ejercicio intermitente, haciendo notar en forma clara la diferencia respecto al entrenamiento por intervalos (interval training) y/o al entrenamiento por repeticiones, por citar algunos ejemplos.

### Perspectiva Histórica del Entrenamiento Aeróbico

Para conocer un poco más acerca del surgimiento de este tipo de metodología con un ejercicio de carácter “intermitente”, nos tenemos que remontar al inicio del

siglo pasado (para ello, V. Billat (5,11) realiza una muy buena y simple descripción), específicamente a partir de las décadas del veinte y treinta. Por ese entonces, el finlandés Hannes Kolehmainen, campeón olímpico de los 10000 m (1912) sostenía que la velocidad utilizada en el entrenamiento debería ser específica, similar a la de competencia. Así, para realizar una ‘competencia’ (o sea, los 10000 m) todos los días, y evitar que sea cotidiano, introdujo el entrenamiento fraccionado, que consistía en dividir la distancia de competencia en fracciones de 5-10 repeticiones, las cuales se efectuaban a la velocidad de competencia. Por esos años, en 1927, el fisiólogo A.V. Hill elabora el concepto de  $VO_{2máx}$  (consumo máximo de oxígeno). Él mismo menciona el concepto de ‘velocidad límite razonable’ (que 60 años más tarde será definido como la  $VAM^1$ ). A partir de dicha velocidad, según Hill, ‘con el correr del tiempo se produce un déficit de oxígeno, se acumula lactato sanguíneo, aumenta la frecuencia cardíaca (FC) y la temperatura corporal, se agotan las reservas de glucógeno, y se presenta dolor y rigidez muscular’.

En ese mismo período, en 1920, el finlandés Paavo Nurmi, corredor de los 5000 m, introduce el entrenamiento con intervalos de carrera a una velocidad superior a la de competencia sobre distancias breves, por ejemplo, 6x400 m, además de carreras lentas en un bosque. Así, Nurmi ya había integrado en su entrenamiento principios de alternancia y de recuperación.

Otro método, el Fartlek nace en la década del treinta en Suecia y es ideado por G. Holmer, cuyo objetivo era la práctica de actividad física en países donde hay largos periodos de frío. El significado del término Fartlek deriva de la unión de las palabras suecas ‘Fart’, que significa velocidad y ‘Lek’, que se refiere a juego, la traducción literal de esta palabra es ‘juego de velocidad’. Su forma más primitiva consistía en trazar y marcar un recorrido al aire libre que debía ser cumplido por el atleta, pasando por diferentes espacios físicos, ya sea la arena de la playa, el bosque, las piedras, los pozos de un camino con nieve o el torrente de un río al atravesarlo si el tramo pasaba por algún arroyo. Luego fue popularizado por el sueco G. Olander. Más tarde, surgieron variaciones del Fartlek que tienen esquemas rígidos que hay que seguir y tienen un orden determinado y que buscaban otros objetivos, como la ampliación del control anaeróbico, cuando se aumenta el ritmo de trote y la resistencia muscular, cuando la duración de la carrera es más larga.

<sup>1</sup> VAM: velocidad aeróbica máxima, es la velocidad o la potencia mínima que solicita el consumo máximo de oxígeno (Billat V., 10)

A fines de la década del cincuenta, el checoslovaco campeón olímpico Emil Zatopek, corredor de 5000 m y 10000 m, inspirándose en los trabajos del médico alemán Reindell, crea el entrenamiento por intervalos (Interval Training). Zatopek llegaba a realizar hasta 100 veces la distancia de 400 m en 80", esto es, a casi el 80% de su velocidad a  $VO_{2máx}$ , dividía 50 repeticiones a la mañana y 50 repeticiones a la tarde. En efecto, este entrenamiento por intervalos era realizado a velocidad de umbral anaeróbico, estimado en base a los tiempos de sus resultados en los 5000 m (la VAM puede ser extrapolada a partir de la velocidad promedio en los 5000 m). El concepto de umbral anaeróbico fue inventado más tarde por el cardiólogo estadounidense Karl Wasserman (1964, Umbral Ventilatorio, que representa la intensidad de trabajo que provoca un repentino aumento de la capacidad ventilatoria) y de la escuela alemana de Mader, Keul, y Kinderman (Umbral Lactácido).

En la década del sesenta, el fisiólogo sueco Astrand P-O. desarrolló el método de intervalos de 3' al 90% del  $VO_{2máx}$ , pensando que se trataba de un método para mejorar el  $VO_{2máx}$ , pero sin haber convalidado esta propuesta a través de un estudio sistemático de la respuesta fisiológica aguda y crónica a este tipo de entrenamiento por intervalos. En este período también, el corredor y entrenador neocelandés Arthur Lydiard desarrolló el método por intervalos 'muy breves': de 10" a 15" de carrera al 100% de la velocidad de  $VO_{2máx}$  y 10"-15" de trote suave o lento al 30-40% del  $VO_{2máx}$ <sup>2</sup>. Este método de entrenamiento fue corroborado por el fisiólogo sueco Christensen que trabajó sobre protocolos de ejercicios intermitentes breves (de 15" a 30").

Como vemos, a través de la historia, resulta difícil definir lo mejor posible los parámetros del ejercicio intermitente (esto es, intensidad y duración de los intervalos de trabajo, tipo y duración del intervalo de recuperación, relación trabajo-pausas, números de intervalos por serie y número de series por sesión, 'amplitud' de intensidades, es decir, la diferencia entre la intensidad de trabajo y la intensidad de recuperación). Por ello, y a modo de aproximación al tema y de diferenciación de términos, diremos que el 'interval training' consiste en uno o más series de ejercicio, de intensidad escasa a moderada, alternados con períodos de recuperación (ver Fox, *Medicine Sport & Science Exercise*, 9, 1997:191-196). Gracias a esta alternancia es posible aumentar la cantidad de trabajo a una intensidad elevada, como fue comprobado por Åstrand (1960), Christensen (1960), Fox (1977) y Margaria (1969). Como parámetros generales de este tipo de entrenamiento se aceptan pausas de trabajo de 45" a 90" y fases de trabajo que van de 2' a 6', en general (1,3,11,13). Y se define al 'entrenamiento fraccionado' como a una serie de entrenamiento en la que la distancia total corresponde casi a la de competencia, pero se

<sup>2</sup> Recordemos que el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2máx}$ ) es tradicionalmente definido como el ritmo máximo al cual el oxígeno puede ser tomado y utilizado por el cuerpo durante el ejercicio (16). Y mucho de nuestra concepción actual del  $VO_{2máx}$  se la debemos al modelo propuesto por A.V. Hill en los años veinte.

fracciona en más partes y en las cuales, la velocidad generalmente está próxima a la que se alcanzará en la competencia, y las pausas van de 1' a 3' en general, las mismas se realizan en forma pasiva. También, en esta última forma de entrenamiento se podría incluir el método de entrenamiento 'por repeticiones', cuyas pausas son mayores a 90".

Otra metodología más cercana a la época actual es el entrenamiento por 'áreas funcionales' (8). Este tipo de entrenamiento surgió como necesidad de cuantificar las cargas de entrenamiento, especialmente en deportes cíclicos, como la natación, atletismo, remo y ciclismo. El entrenamiento por áreas funcionales es la aplicación de cargas determinadas de trabajo, las cuales provocan modificaciones 'funcionales' específicas (de Hegedus, 1996)(8). Como dato histórico pre-existente a esta metodología, el alemán Toni Nett en 1960, ya hablaba de 'entrenamiento aeróbico' y 'entrenamiento anaeróbico', siendo el primero relacionado a las grandes funciones, especialmente el ámbito cardio-vascular y respiratorio, y el segundo, sobre la musculatura. Aunque actualmente, hoy se sabe de la íntima relación entre ambos (8). Entonces, de acuerdo a esta división entre aeróbico y anaeróbico, es como se dividen las siguientes áreas funcionales: A.F. Aeróbicas (regenerativo, subaeróbico, supraaeróbico y  $VO_{2máx}$ ) y A.F. Anaeróbicas (capacidad láctica, potencia láctica, capacidad aláctica y potencia aláctica). Esta metodología consiste básicamente en 'pasadas' (carreras) a un % de la intensidad del área funcional correspondiente (cuantificadas a través de la FC y/o concentración de lactato sanguíneo). Dichas 'pasadas' son carreras realizadas 'en línea', generalmente en una pista de atletismo, con pausas pasivas o muy moderadas (caminando). Este tipo de entrenamiento sigue teniendo vigencia tanto en deportes cíclicos (y/o individuales) como en los acíclicos (deportes de equipos), en especial, en el período de preparación física pre-competitivo.

Otro método que se puede mencionar, es el método de Carmelo Bosco (9), muy utilizado en el ambiente del fútbol (llamado con las siglas CCVV, carrera continua con variaciones de velocidad). Se caracteriza por acciones intensas breves crecientes y sobre distancias en línea (no 'shuttle'<sup>3</sup>). Aquí, ya se observa un tipo de recuperación 'activa', a la cual el mismo Bosco la define como Velocidad de Recuperación Activa (VRA). Allí hay distancias que van de 10 a 30m (de 2" a 7") y recuperaciones de 30" a 110", con valores de lactato fluctuantes entre 4 y 8 mmol y una FC entre 90-98% del máximo.

Como una primera conclusión de estos antecedentes históricos, y de acuerdo a estas metodologías ya descritas, se obtienen 3 registros de la intensidad que poseen un significado fisiológico importante:

1. La velocidad inferior al umbral láctico.

<sup>3</sup> Shuttle: forma de carrera en línea pero de ida y vuelta, con giro, en una determinada distancia corta, como ocurre en el Test de Navetta.

2. La velocidad igual o ligeramente superior al umbral láctico.

3. La velocidad asociada al  $VO_{2m\acute{a}x}$ .

También, se debe agregar que estas metodologías fueron acompañadas por líneas de investigación en la fisiología del ejercicio en torno a la medición del  $VO_{2m\acute{a}x}$  y a la construcción de dicho concepto, para luego pasar a concentrarse a la del umbral anaeróbico, más tarde definido como umbral láctico, como ejes centrales de las investigaciones de esos tiempos.

Hoy en día, uno de los focos de investigación científica respecto al entrenamiento aeróbico se centra sobre la intensidad de ejercicio asociado al  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ , o sea, a la VAM, cuyo concepto es de mucha importancia en la programación del entrenamiento intermitente. Además de este concepto, se agrega últimamente, el relacionado al tiempo límite de carrera a velocidad de  $VO_{2m\acute{a}x}$ . Ambos temas serán tratados más adelante en esta revisión.

### Bases Fisiológicas del Ejercicio Intermitente

#### Primeros estudios acerca del ejercicio intermitente

Para entender el fenómeno complejo del ejercicio intermitente desde el punto de vista fisiológico, hay que remontarse a los primeros estudios científicos realizados para dicho fin. Esos estudios, tienen un gran valor significativo por su momento histórico de su realización, y en algunos casos, por su real conocimiento desprendido a partir de ellos, actualmente vigente, o al menos visionarios.

Muy conocidos y actualmente (y siempre) citados son los artículos publicados en 1960 por Per-Olof Åstrand y E. Hohwü Christensen y otros colaboradores, quienes realizaron varios de ellos para una serie 'especial' para el journal *Acta Physiologica Scandinava* (hoy llamado *Acta Physiologica*, de la reciente *Federation of European Physiological Societies*).

Pero para entender aún más a fondo, la lógica y el pensamiento de la época, es interesante señalar un artículo de Christensen (12) en el journal *Ergonomics* en 1962, llamado 'Speed of Work', donde se detallan un conjunto de cuestiones que dan una idea de cómo se pensaba, inclusive cómo se concebía a la fisiología 'del trabajo' (hoy, específicamente, la fisiología del ejercicio). Inclusive, el nombre del artículo en inglés, invita a la confusión si no se lee el contenido del mismo, ¿por qué? Pues bien, allí se discute la 'velocidad del trabajo', y no de la velocidad como capacidad física, sino el trabajo que desempeñan trabajadores de industrias, forestales, y del campo. En dicho artículo, se habla de la velocidad del trabajo respecto de la producción por minuto, por hora y por día. Este autor sueco se va a concentrar en las cargas pesadas o moderadamente pesadas del trabajo muscular, ya que las cargas de trabajo repetitivas y livianas, según él, deberían ser tema de investigación desde la psicología. Obviamente, la carga de trabajo pesado o moderadamente pesado está relacionado con la industria, aunque también en las actividades del campo y forestales.

Ellos proponían que al aumentar las cargas de trabajo, aumenta el consumo de  $O_2$ , lo cual a su vez exigía al sistema respiratorio, a la circulación, y a la regulación del

calor corporal. Por lo tanto, se podría ajustar el trabajo al trabajador o ajustar el trabajador al trabajo. Así, con el conocimiento, la fisiología podría ayudar a los trabajadores a hacerles 'más humana' su situación de trabajo. La cuestión sería: ¿qué es una carga razonable y cuál no? Una forma de saberlo sería ajustar la carga en forma individual y otra forma sería realizar parámetros en promedio (estándar). Christensen, citando un trabajo de Lehman (citado en la referencia 12), se concentra en el gasto energético en las distintas ocupaciones laborales, y el valor de las cargas 'pico' que a veces pueden ocupar el 10% o menos del tiempo total de trabajo, lo cual limita el reclutamiento para algunos trabajos severos. Por esta razón, habría que concentrarse más en las cargas pico que en las cargas promedio. Las cargas promedio son importantes desde el punto de vista nutricional y sirven para calcular la cantidad de comida para una población de trabajadores, pero no sirven para ajustar el trabajo a sus trabajos. Por lo tanto sugieren analizar el  $VO_{2m\acute{a}x}$  para estimar el sobre-esfuerzo en una población (no deportista). El autor aclara que este análisis, es muy costoso y requiere de bastante conocimiento por parte de los investigadores. Un método más simple es determinar la FC del trabajador en una situación real de trabajo. Bajo condiciones normales de clima, en la dinámica laboral existe una relación lineal entre el gasto calórico y la FC, pero esta relación apenas da una idea de la capacidad de trabajo del sujeto. Es decir, sugiere utilizar la FC para cuantificar la carga relativa y usar el  $VO_{2m\acute{a}x}$  para la carga total de trabajo. Y como esta relación lineal no es muy importante de utilizar como indicador de estrés de un trabajo dado para un sujeto sólo, por ejemplo, dos sujetos pueden trabajar a 130 latidos·min<sup>-1</sup>, y según su capacidad de trabajo, uno puede estar trabajando a 12 calorías·min<sup>-1</sup> y otro a 6 calorías·min<sup>-1</sup>. Siguiendo el análisis de los autores, el  $VO_{2m\acute{a}x}$  da la carga absoluta pero la FC da la carga relativa, la cual es muy importante en muchas instancias. También el autor resalta los factores climáticos en la jornada laboral, como el calor y la humedad. De allí, el uso de la FC, ya que ésta se modifica en función de esas variables, como un índice de carga fisiológica. Es aquí donde el autor cita los trabajos de Åstrand, para preguntarse: '¿cuál sería la FC razonable en una jornada de 8 horas de trabajo?' Y en sus trabajos, Åstrand propone una FC de 120-130 pulsaciones por minuto, siendo estos valores el límite superior para el trabajo continuo en individuos jóvenes, y de 100-110 para los adultos (12). Es por todo esto que en su artículo Christensen propone que algunas situaciones en la industria, el trabajo pesado muscular no debería ser continuo (en general), sino intermitente. Para lo cual hará incapié en la duración de las pausas.

Para explicar y fundamentar el uso de las pausas cortas de descanso en la hora de trabajo, Christensen cita sus propios trabajos y los de Åstrand, realizados pocos años antes. Y más precisamente, explican el efecto beneficioso de dividir el trabajo muscular pesado en períodos cortos de trabajo seguido por pausas cortas. En uno de esos artículos (6) un sujeto físicamente bien entrenado, realizó

en una hora una cantidad de  $64800 \text{ kpm}^4$  (que da un promedio de  $176,5 \text{ W}$ ) sobre un cicloergómetro, en forma intermitente varias series de ejercicio de  $30''$ ,  $1'$ ,  $2'$  y  $3'$  de trabajo y pausa (es decir,  $30'' \times 30''$ ,  $1' \times 1'$ ,  $2' \times 2'$ ,  $3' \times 3'$ ). La carga real de trabajo fue de  $2160 \text{ kpm}$  ( $350 \text{ W}$ ), es decir, una típica carga no estable. Se observó que cuando el trabajo pesado era dividido en períodos cortos de trabajo y pausa (de  $30''$  o  $1'$  de duración), esa carga se transformaba en una carga submáxima sobre la circulación y la respiración, y además fue tolerado durante una hora. Con períodos más largos (de  $2'$  o  $3'$  de duración), la carga de trabajo se encontró más cerca del límite superior de rendimiento y los valores de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , ventilación pulmonar, FC y concentración de lactato<sup>5</sup>, explican la diferencia en el esfuerzo subjetivo. En la Tabla 1, se puede observar que realizar el trabajo en el formato  $3' \times 3'$  (típico de un trabajo de intervalos), es casi el 90-95% del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , alcanzándolo en las últimas repeticiones.

Los valores de lactato fueron 6 veces más altos cuando se realizó el trabajo en un formato  $30'' \times 30''$  a la misma intensidad (casi  $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ). Otro dato llamativo, es el de las frecuencias cardíacas y su amplitud: en el  $3' \times 3'$  van de 118 a 188 pulsaciones (amplitud de 70 pulsaciones) y en el  $30'' \times 30''$  van de 137 a 150 pulsaciones (13 pulsaciones de amplitud), mientras que en el trabajo continuo a  $175 \text{ W}$  por minuto durante una hora produjo una FC máxima de 134 pulsaciones y una concentración de lactato de  $1.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , lo cual representa una carga liviana de trabajo. También, se puede ver que al realizar  $1' \times 1'$  en forma intermitente  $350 \text{ W}$ , los valores de lactato son un poco más que el doble que los valores del formato  $30'' \times 30''$ , y la FC varía también (167-99 pulsaciones, con una amplitud de 79, siendo la más alta registrada en todas las series de ejercicio). Otro dato a destacar fue la serie de ejercicio realizado en forma continua pero a  $350 \text{ W}$  ( $2160 \text{ kpm}$ , la misma carga utilizada en el ejercicio intermitente) durante  $9'$ , donde se llegó al agotamiento físico con  $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  de lactato, una FC de 204 pulsaciones y un  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  de  $4.60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , siendo claramente exigente este trabajo. Con estos datos, se pudo comprobar que una gran carga de trabajo pesado puede ser realizado con una carga submáxima sobre la circulación y la respiración con el formato de trabajo/pausa corto (es decir,  $30'' \times 30''$ ,  $1' \times 1'$ ). Una muestra de ello son los valores de lactato en este tipo de ejercicio (ver Figura 1).

En otro experimento, Åstrand y Christensen (10), sometieron a un sujeto entrenado a trabajar en forma intermitente en un cicloergómetro durante 30 minutos con una carga de  $412 \text{ W}$  y el tiempo de trabajo y pausa fueron

variando independientemente uno del otro. Este mismo sujeto, al ejercitarse en forma continua y con la misma carga, se agotó en casi  $3'$ . La Figura 2 ilustra algunos de los resultados. Otra vez aquí, los períodos cortos resultaron en concentraciones casi normales de lactato sanguíneo, mientras que períodos más largos de tiempo con igual producción total de trabajo durante la prueba de  $30'$ , produjeron un aumento empinado en el lactato sanguíneo. Disminuyendo la carga total de trabajo de  $25200 \text{ kpm}$  ( $4120 \text{ W}$ ) a  $15120 \text{ kpm}$  ( $2472 \text{ W}$ ) a partir de 'doblar' las duraciones de las pausas, tuvo solamente un efecto muy ligero (suave), pocos períodos de trabajo fueron realizados y, por lo tanto, la posibilidad de producir lactato en mayor cantidad fue reducida. Esto se observa muy bien en la Figura 2 donde los valores de lactato varían considerablemente al modificar el período de pausa, donde en el caso A la relación trabajo/pausa es de 1:2, y en el caso B es de 1:4; es decir, el doble del tiempo de la pausa respecto al tiempo de trabajo. Así, al ejercitarse intermitentemente durante  $1'$  y descansando  $2'$ , el mismo sujeto pudo continuar durante  $24'$  antes de estar totalmente agotado, y la concentración de lactato rondó por los  $15.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Tengamos en cuenta que las pausas en estos experimentos son en forma pasiva, de allí que al ver el trazado de las curvas de la concentración de lactato según la relación trabajo:pausa, y en el caso A siendo más 'lineal' ese comportamiento y más fluctuante en el caso B. De esta manera, cuando los sujetos realizaron  $10''$  de ejercicio por  $20''$  de pausa, pudieron completar una producción de  $247 \text{ kJ}$  ( $59 \text{ kcal}$ ) en  $30'$  sin sensación severa de esfuerzo físico y su concentración de lactato sanguíneo no excedió los  $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , indicando un suministro balanceado de  $\text{O}_2$  hacia sus músculos altamente activados (13). Con períodos de ejercicio y pausa de  $30''$  y  $60''$ , respectivamente, se obtuvieron resultados intermedios. El factor crítico de ese 'equilibrio' y/o efecto beneficioso sobre la fatiga del sujeto fue la longitud de los períodos de ejercicio y la duración de las pausas en los descansos; y el tiempo total empleado en la pausa durante el período de  $30'$  fue solamente de importancia secundaria (13). Las explicaciones de por qué ocurre este fenómeno serán recopiladas más tarde.

En otro trabajo, Åstrand y Christensen (4) realizaron distintos ejercicios intermitentes de carrera en una cinta ergométrica (sin % de inclinación). En una primera parte de esa investigación, un sujeto corrió en forma continua a  $20 \text{ km} \cdot \text{hr}^{-1}$ , para lo cual necesitó de  $4'$  hasta quedar agotado y cubriendo una distancia de  $1300 \text{ m}$ . Su  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  fue de  $5.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , y su concentración de lactato fue de  $16.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Luego, el mismo sujeto corrió intermitentemente con  $5''$  de actividad alternando con  $5''$  de pausa (completa y pasiva) durante  $30'$ , logrando alcanzar el 81% del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  (su máximo era de  $67 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), pero dicho valor fue constante a lo largo del ejercicio. La concentración de lactato fue de  $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La demanda de oxígeno durante la actividad correspondió a  $8.52 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  (durante la carrera) y de  $0.71 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  (durante la pausa). El consumo real en cada período fue solamente de  $0.363 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  y un déficit de  $0.347 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  fue cubierto por los depósitos de  $\text{O}_2$  disponible. Un dato a destacar, es el hecho de alargar el período de pausa, aunque, por

<sup>4</sup> Kpm = kilopondios por metro; un kilopondio es la fuerza que actúa sobre la masa de un kilogramo en una aceleración normal de la gravedad;  $1 \text{ kpm}/\text{min} = 0,1635 \text{ watts}$

<sup>5</sup> Cuando se habla del ejercicio muscular, es mejor hablar de lactato que de ácido láctico y subrayar que el lactato no representa otra cosa que la evidencia de una producción del ATP a través de la glucólisis y/o glucogenólisis, es decir, el lactato es el resultado final de la producción y eliminación de ácido láctico en la sangre. ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ , ácido láctico  $\rightarrow$   $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3$  lactato (anión) +  $\text{H}^+$  (protón)) (17)

ejemplo, en el bloque de 15''-10'' (trabajo-pausa), el sujeto llegó a alcanzar el 95% de su  $VO_{2máx}$  a lo largo de los 18', con una concentración de lactato de 5.6  $mmol \cdot L^{-1}$  (15,4,12). Sin embargo, como las pausas eran pasivas,

este valor fluctuó entre el 80% y el 95% de su  $VO_{2máx}$ . Los resultados de las demás partes de este experimento se pueden observar en la Tabla 2.

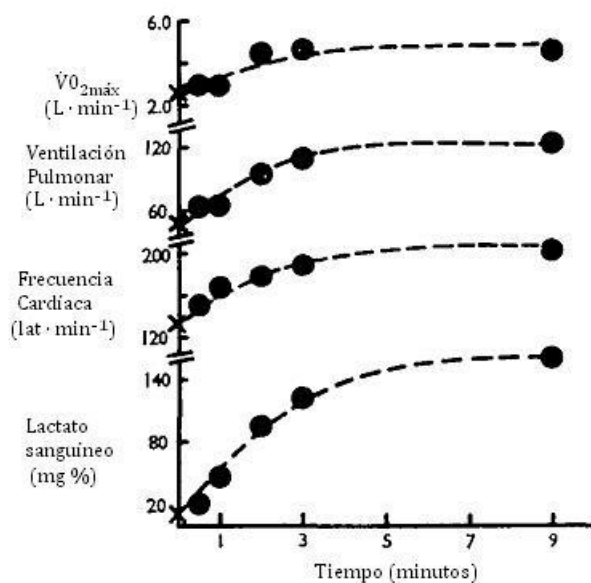
**Tabla 1.** Datos de un sujeto que realizó una carga de 635 KJ (64800 kpm) en un cicloergómetro en una hora con diferentes procedimientos. (Ref. 6)

Tipo de ejercicio	Consumo de Oxígeno				Ventilación Pulmonar		Frecuencia Cardíaca			Lactato sanguíneo Mmol·L <sup>-1</sup>		
	L·hr <sup>-1</sup>	L·min <sup>-1</sup>				L·min <sup>-1</sup>	Latidos·min <sup>-1</sup>					
		Máximo	% $VO_{2máx}$	Mínimo	% $VO_{2máx}$		Máxima	Mínimo	% FC Máx			
<b>Continuo</b>												
175 W	148	2.44	53%			49	134			1.3		
350 W*		4.60	100%			124	190			16.5		
<b>Intermitente</b>												
350 W												
<b>Ejercicio</b>	<b>Pausa</b>											
30 seg	30 seg	154	2.90	63%	2.30	50%	63 <sup>†</sup>	150	74%	137	67% %	2.2
1 min	1 min	152	2.93 <sup>†</sup>	64%	2.23	49%	65 <sup>†</sup>	167	82%	99	49% %	5.0
2 min	2 min	160	4.40	96%	1.00	22%	95	178	87%	106	52% %	10.5
3 min	3 min	163	4.60	100%	1.00	22%	107	188	92%	118	58% %	13.2

\*Pudo ser realizado durante solamente 9 minutos.

<sup>†</sup> Medidos durante 1/2 minutos.

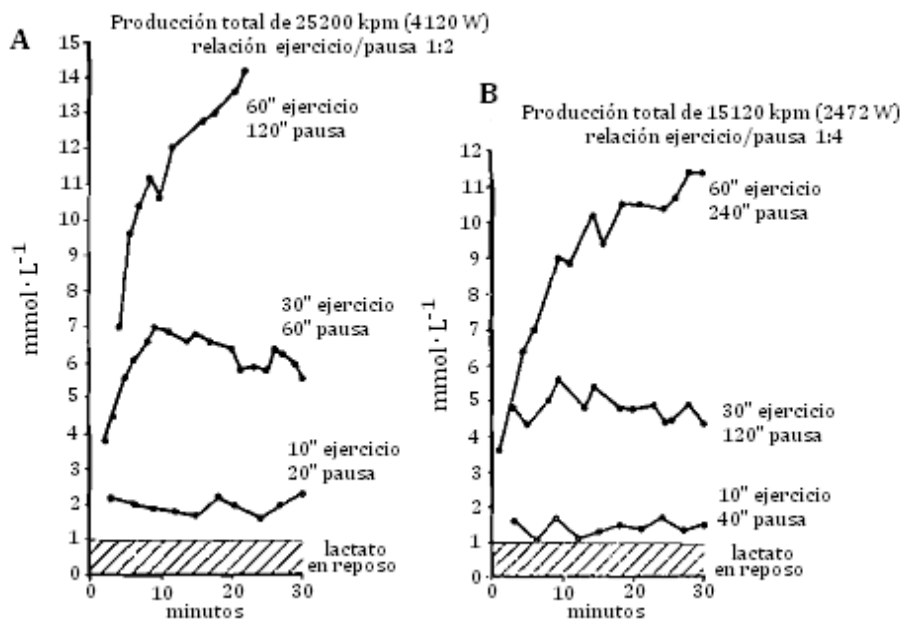
Las columnas en celeste, corresponden a datos originales del autor de la Ref. (2). En rojo, son deducciones de esta revisión.



**Figura 1.** Efecto de períodos alternados de ejercicio y pausa (intermitente) sobre los valores más altos de  $VO_{2máx}$ , ventilación pulmonar, frecuencia cardíaca y concentración de lactato (18).

• períodos alternados de ejercicio y pausa de duración de 30''-9', en cicloergómetro a un ritmo de 350 W.

x datos para el ejercicio continuo al 50% de la carga de trabajo de 350 W, mostrados para su comparación.



**Figura 3.** Concentración de lactato sanguíneo a una producción total de trabajo de (A) 25200 kpm (4120 W) y de (B) 15120 kpm (2472 W) durante un experimento de 30'. El trabajo fue realizado con una carga de 2520 kpm·min<sup>-1</sup> (412 W). Los períodos de trabajo duraban 10'', 30'' y 60'' y los períodos correspondientes de pausa duraban 20'', 60'' y 120'', para el caso de A, y 40'', 120'' y 240'', para el caso de B. (ref. 6,10,12,13)

Para sintetizar la explicación general acerca de por qué con períodos breves de ejercicio se puede llevar a cabo un trabajo con carga pesada, pero que al hacerlo en forma intermitente, se transforma en un trabajo submáximo a lo sumo moderado, basta ver la Figura 4. Allí, por ejemplo cuando una persona se ejercita intermitentemente durante períodos cortos, por ejemplo, de 10'' con una carga considerablemente alta, el metabolismo aeróbico es adecuado, a pesar de un insuficiente transporte de oxígeno durante el arranque de la actividad. Es así, que los autores hacen referencia al oxígeno guardado en la mioglobina como una fuente de suministro para este tipo de ejercicio.

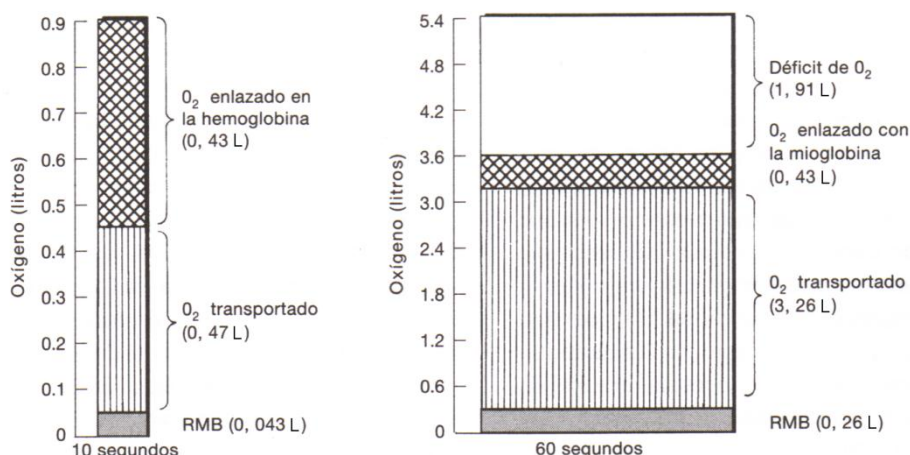
También, la ventaja de utilizar este recurso, es que se recarga muy fácilmente (4,6,10) durante los períodos de descanso, y así una mayor energía aeróbica puede ser usada para provocar una mayor producción de ATP por unidad de glucosa, comparado con la formación de lactato. Entonces, el déficit de oxígeno (la diferencia entre la cantidad de oxígeno necesario y la cantidad de oxígeno realmente consumido), se pensó que daba cuenta de la utilización de otras fuentes energéticas tales como los fosfatos de alta energía (por ejemplo, la fosfocreatina) y el oxígeno unido a la mioglobina. Esta explicación se ampliará más adelante.

**Tabla 2.** Datos de un sujeto durante una carrera intermitente para 30 minutos a 20 km h<sup>-1</sup> sobre una cinta ergométrica entre períodos variados de carrera.

Períodos de ejercicio-pausa	Distancia (metros)	Tiempo total empleado				Consumo de oxígeno L·min <sup>-1</sup>						Ventilación Pulmonar L·min <sup>-1</sup>						Lactato sanguíneo
		Durante el ejercicio		Durante la pausa		Ejercicio		Pausa		Ejercicio		Pausa						
		Durante el ejercicio	Durante la pausa	% de la distancia máxima	Relación Ejercicio-pausa	máximo	% del VO <sub>2</sub> máx	promedio	% del VO <sub>2</sub> máx	máximo	% del máximo	Promedio	% del máximo	máximo	% del máximo			
5''-5''	5000	15'	15'	+385%	1:1	-	-	4.3	77%	4.5	80%	-	-	101	64%	101	64%	2.5
5''-10''	3330	10'	20'	+256%	1:2	-	-	3.4	61%	3.0	54%	-	-	81	51%	77	49%	1.8
10''-5''	6670	20'	10'	+513%	1:0,5	5.6	100%	5.1	91%	4.9	88%	157	99%	142	90%	140	89%	4.8
10''-10''	5000	15'	15'	+385%	1:1	4.7	84%	4.4	79%	3.8	68%	109	69%	104	66%	95	60%	2.2
15''-10''	6000	18'	12'	+462%	1:1,5	5.3	95%	5.0	95%	4.5	80%	140	89%	130	82%	144	91%	5.6
15''-15''	5000	15'	15'	+385%	1:1	5.3	95%	4.6	82%	3.8	68%	110	70%	90	57%	95	60%	2.3
15''-30''	3330	10'	20'	+256%	1:2	3.9	70%	3.6	64%	2.8	50%	96	61%	79	50%	64	41%	1.8



**Nota:** Durante la carrera continua, el sujeto llegó hasta los 4 minutos, cubriendo una distancia de casi 1300 m. El consumo de oxígeno fue de  $5.6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ; ventilación pulmonar:  $158 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ; concentración de lactato sanguíneo:  $16.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . (4) Los espacios de color rosado, son deducciones de esta revisión.



**Figura 4.** Demanda de oxígeno para 10" y 60" con una potencia de 2520 kpm (412 W). En cada esquema se ve el RMB (ritmo metabólico basal), las fracciones de oxígeno combinado con la hemoglobina y transportado por la sangre, y el déficit de oxígeno. De Åstrand y col. (1,13).

### Aportes Científicos Posteriores.

En otro lado de Europa, y proveniente de la escuela de Milán, en 1969 R. Margaria y su grupo (7), realizó un estudio sobre la energética en el ejercicio intermitente supramáximo. La intención del autor fue analizar el ejercicio intermitente, asumiendo que un ejercicio extenuante de carrera ( $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  con 15% de inclinación) llevado a cabo hasta el agotamiento (tardando 30"-40"), generaba lactato que era producido 'solamente' después de 10"-15" del comienzo del ejercicio, presumiendo que las fuentes de energía anaeróbica dadas por los fosfatos de energía (ATP+CP) eran agotadas o al menos alcanzaban el nivel crítico. Entonces, este autor, planteó la hipótesis acerca de que si ese ejercicio era sostenido durante 10", sólo un débito aláctico de oxígeno era contraído. Dicha fracción de débito de  $\text{O}_2$  era muy rápidamente 'pagado' en una pausa de 20"-30", con lo cual una pausa muy corta era suficiente para la recarga de los depósitos de fosfágenos y así el sujeto podría volver a realizar el mismo ejercicio otra vez a la misma intensidad, sin formación apreciable de lactato, ni acumulación sanguínea del mismo, y por lo tanto, repetir este ejercicio casi en forma indefinida. Para lo cual dicho autor, utilizó 3 sujetos que realizaron distintas carreras en una cinta ergométrica.

El protocolo fue el siguiente: debían correr a  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  y con 15% de inclinación durante 10", y en 3 series con periodos de descanso de 10", 20" y 30", respectivamente. Previamente, a esa misma intensidad alcanzaron su agotamiento entre los 32" y 38" con una concentración máxima de lactato de 50-60 mg/100 ml ( $\sim 5.5\text{-}6.6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). En la Tabla 3 se pueden observar los datos producidos en los distintos protocolos.

Como se puede observar en la Tabla 3, cuando la carrera se le agrega una pausa de 10", el tiempo total de carrera hasta el agotamiento se triplicó, y cuando se agregó 20" de pausa, se aumentó 6 veces más ese tiempo; y al agregar un período de 30" de pausa, el ejercicio se pudo llevar a cabo en forma 'indefinida'. Con respecto al comportamiento de las concentraciones de lactato en las

distintas pruebas, se puede observar los resultados en la Figura 5.

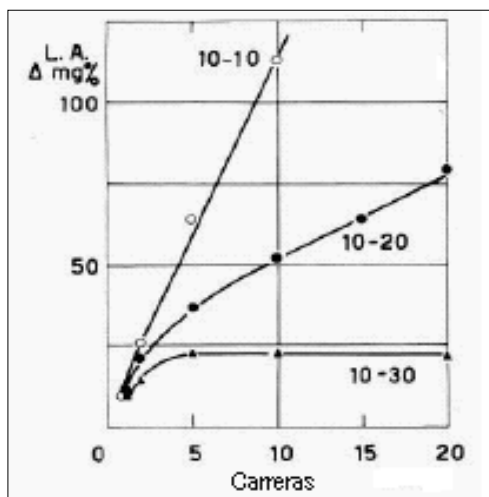
Ahí se puede observar que el lactato aumentó a un ritmo alto en las primeras carreras en todos los sujetos y durante todas las series hasta lograr un estado estable después de la 15<sup>a</sup> carrera. También, la producción de lactato (o formación del débito de  $\text{O}_2$  láctico<sup>6</sup>) como una función de la duración del período de descanso (pausa), el tiempo mínimo de pausa en la cual poca formación de ácido láctico (AL) toma lugar, puede apreciarse gráficamente por la extrapolación de esa función a  $\text{AL} = 0$  (Figura 6).

Por lo tanto, el tiempo mínimo de 25" sería necesario para "pagar" ese débito de  $\text{O}_2$  contraído durante el ejercicio supramáximo de carrera de 10", sobre fuentes energéticas pura y solamente alácticas (fosfágenos), sin implicar mecanismos glucolíticos (7). Con lo cual, el débito de  $\text{O}_2$  oscila durante esta forma de ejercicio (10" de ejercicio + 25" de pausa) entre 0 (al final de la carrera), y el 50% (al final del período de recuperación de 25"), como indica la Figura 7.

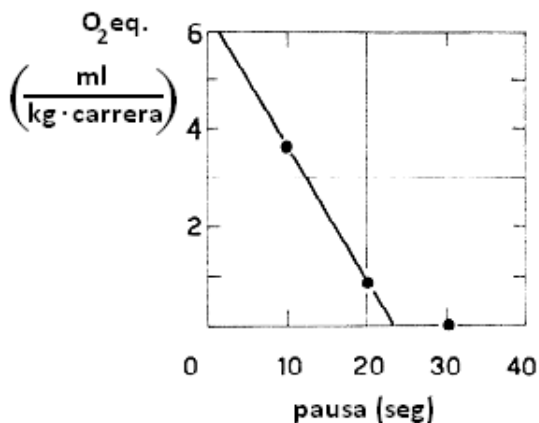
Sujeto	Ejercicio continuo	Con 10" de pausa	Con 20" de pausa	Con 30" de pausa
GR	38"	100"	200"	indefinido
AC	32"	90"	210"	indefinido
AR	33"	-	200"	indefinido

**Tabla 3.** Tiempo total de rendimiento de un trabajo intermitente supramáximo de 10" de duración (carrera en cinta ergométrica a  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  con 15% de inclinación) con cambios en la duración de las pausas como se indica allí (Ref. 7).

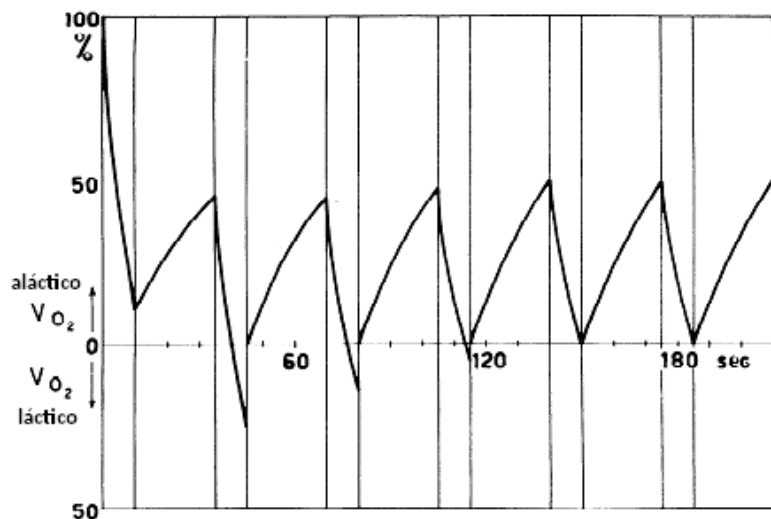
<sup>6</sup> El Débito de Oxígeno o el Consumo Excesivo Post-esfuerzo de Oxígeno ("Excess Post-exercise Oxygen Consumption", EPOC) es el consumo de oxígeno en exceso y por encima de los valores de base (reposo), luego de un ejercicio donde la demanda energética es inadecuada para resintetizar ATP en forma aeróbica.



**Figura 5.** Concentración de ácido láctico (L.A., en la figura) por arriba de los niveles de reposo, en el trabajo intermitente (10 segundos) en función del número de carreras para las tres series de los ejercicios, con períodos de pausa de 10, 20 y 30 segundos respectivamente. (Ver. Ref. Margaria, 7).



**Figura 6.** Ritmo de producción de ácido láctico en estado estable (promedio de todos los sujetos) expresados como su equivalente de O<sub>2</sub> (ml O<sub>2</sub>·kg de peso corporal · carrera) como una función de la duración del período de pausa (7).



**Figura 7.** Contribución del VO<sub>2</sub><sup>máx</sup> aláctico y láctico en porcentaje de la capacidad total aláctica para el requerimiento energético. El período de trabajo duraba 10", la pausa de 25" está indicada por las líneas finas verticales (esquema)(7).

Con los datos del VO<sub>2</sub> ocurre lo siguiente: al realizar los turnos de 10" de carrera con pausas de 20", el VO<sub>2</sub> parece aumentar muy rápidamente al comienzo del ejercicio y en la 1<sup>era</sup> pausa, no difiere del 1<sup>er</sup> período de carrera. Pero cuando se alcanza un estado estable, el VO<sub>2</sub> es sensiblemente menor durante la pausa que durante la carrera. Margaria dice que el sujeto en la 1<sup>era</sup> carrera está en un estado de 'anoxia' (falta casi total de oxígeno en un tejido). Por lo tanto, la mayor parte de la energía será

provista de los mecanismos anaeróbicos y menos de los mecanismos aeróbicos, y puesto que la capacidad de los mecanismos alácticos es limitada, el cuerpo tiene un 'retraso' sobre los mecanismos lácticos para suplir sus requerimientos metabólicos. Solamente después de un minuto o más del comienzo del ejercicio, el VO<sub>2</sub> alcanza su máximo, y menos energía provendrá de los mecanismos anaeróbicos. Y si el período de descanso es



mayor a 25", el sistema de los fosfágenos es el adecuado por sobre los mecanismos láctícos.

Como conclusiones finales del estudio, Margaria afirma: a) en el eje supramáximo, la energía para el ejercicio no surgen del mecanismo glucolítico hasta que el sistema de los fosfágenos no se agote o alcance un nivel crítico. Él menciona que el mecanismo aláctico, siempre precede cronológicamente al mecanismo láctico; b) el pago del débito de oxígeno toma lugar durante la recuperación a un ritmo muy rápido; c) la capacidad de este mecanismo es de casi 20 ml O<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup> (peso corporal); d) el ejercicio intermitente 'muy pesado' puede llevarse a cabo, siempre y cuando, la intensidad y la duración correspondan a un consumo de O<sub>2</sub> no mayor al correspondiente a la fracción aláctica del débito de O<sub>2</sub>, y si los períodos de descanso

son suficientemente largos que permitan el 'pago' de ese débito durante el período de ejercicio.

La importancia de todos estos primeros estudios radica en la intención de identificar algunos parámetros fisiológicos en el marco del ejercicio intermitente, y que por su antigüedad y contexto histórico de su realización, toman un gran valor de referencia, aún en la literatura actual relacionada con este tema.

Cabe aclarar que algunos conceptos de los descritos anteriormente, hoy en la actualidad carecen de sentido ya que, por ejemplo, es sabido que la activación de los tres sistemas de recambio de ATP (fosfágenos, láctico y aeróbico) actúan en un solapamiento energético, es decir, actúan en distintos porcentajes de contribución energética (según la intensidad del esfuerzo), pero todos se activan en menor o mayor medida.

## Bibliografía

1. **Åstrand P.O. y Shephard R.J.** La Resistencia en el Deporte. 2da Edición, Ed. Paidotribo, Barcelona, año 2000, pp. 8-12.
2. **Christmass M.A., Dawson B., Passeretto P., Arthur P.G.** A comparison of skeletal muscle oxygenation and fuel use in sustained continuous and intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, Oct 1999; 80(5): 423-35.
3. **Colli R.** L'allenamento intermittente: Principi generali e metodologici (2004).
4. **Christensen E.H., Hedman R., Saltin B.** Intermittent and continuous running. *Acta Physiol Scand* 1960; 50: 269-87.
5. **Billat L.V.** Il contributo della scienza alla allenamento sportivo (2° parte). *SdS Rivista di Cultura Sportiva*; anno XX; N° 54, gennaio-marzo 2002.
6. **Åstrand I., Åstrand P.O., Christensen E.H.** Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand* 1960; 48: 448-53.
7. **Margaria R., Oliva R.D., di Prampero P.E.** Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. *J Appl Physiol* 1969; 26: 752-6.
8. **De Hegedus J.** El entrenamiento por áreas funcionales; Revista Digital: Lecturas; Ed. Física y Deportes, Año 1, nº3, Bs. As., diciembre 1996.
9. **Bosco C.** Aspectos fisiológicos del futbolista. Ed. Paidotribo.1991.
10. **Åstrand, I., y Åstrand, P-O.** Myohemoglobin as an oxygen-store in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 48, 454-460 (1960).
11. **Billat V.** Fisiología y metodología del entrenamiento: de la teoría a la práctica. Ed. Paidotribo.2002
12. **Christensen E.H.** Speed of work. *Ergonomics* 1962; 5:7-13.
13. **Åstrand P.O.** Fisiología del esfuerzo físico. Edit. Manual Moderno 10ª Edición 1999.
14. **Billat V.L., Koralsztein J.P.** Significance of the velocity at VO<sub>2max</sub> and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 1996 Aug;22(2):90-108.
15. **Billat, V.L** Interval training for Performance: a Scientific and Empirical Practice. *Sports Medicine.* 31 (1), 13-31 (2001).