PubliCE, (PubliCE) 2004

Monograph

El Ejercicio Intermitente: Perfil Metabólico Muscular

Prof. Ricardo L Scarfó

RESUMEN

Palabras Clave: resistencia intermitente, interval training, steady state, aporte de energía

INTRODUCCION

Se analizarán a través de una pequeña revisión, las características fisiológicas del ejercicio intermitente, en especial referencia a su perfil metabólico muscular. El rol de la mioglobina en este tipo de esfuerzo también es tratado debido a su importancia tanto en el transporte de O_2 como su influencia en los procesos metabólicos subyacentes. Por lo tanto, esta revisión tiene como objetivo descubrir el ejercicio intermitente desde un punto de vista metabólico, según distintos protocolos de estudio.

Breve reseña histórica de algunos conceptos básicos

Reindell y Roskamm (1959) habían sido los primeros en descubrir los principios del "interval training", ya eran populares en los años '50s por el campeón olímpico Emil Zatopek (que repetía hasta 100x400mtrs en 80", a casi el 80% de su velocidad de VO_2máx). El interval training consiste en una o más series de ejercicios de intensidad baja a moderada, alternados con períodos de recuperación (Fox, 1993). Gracias a esta alternancia es posible aumentar la cantidad de trabajo a una intensidad elevada (3,9,12,14,29,30). Margaria y Col. (29), habían avanzado sobre la hipótesis según la cual era posible continuar un ejercicio indefinidamente alternando repeticiones de 10" de ejercicio al 130% de la potencia que solicita el VO_2máx, intercalados por 30" de pausa (29). Para los alemanes Reindell H. Y Roskamm (1959) lo que determinan principalmente las adaptaciones cardiovasculares es el período de recuperación (el intervalo) sucesivo a cada repetición a intensidad elevada. En cambio, para el interval training, según el estadounidense Fox, sería determinante el período de ejercicio intenso. Para Fox, de hecho, el interval training corresponde a los ejercicios intermitentes, esto es, a los ejercicios que comportan una alternancia entre fases de actividad intensa y de recuperación. Por otra parte, la expresión "entrenamiento fraccionado" se refiere a una forma de entrenamiento en la cual la distancia total correspondiente a la de la competencia, pero se fracciona en más partes y en la cual la velocidad generalmente está próxima a la que se quiere conseguir en la competencia.

Definición de ejercicio intermitente

Según Åstrand P-O. (2), las respuestas fisiológicas al ejercicio pueden ser muy distintas en el ejercicio continuo en comparación al ejercicio intermitente, es decir, breves explosiones de ejercicio intensivo, y dicho autor, le atribuye una duración inferior a un minuto. Según Christmass M.C. (17), el ejercicio intermitente está compuesto de períodos frecuentes de trabajo intenso seguidos por períodos de recuperación menos intensos. Algunos autores, como Colli R. (19),

por ejemplo, diferencian una clasificación del trabajo intermitente según la intensidad de trabajo: a) “all-out” (máximo), que son repeticiones realizadas a intensidad máxima y/o supramáximas del VO_2máx (alrededor del 130 al 160% del VO_2máx); y b) “sub-máximo”, que son repeticiones realizados a intensidades inferiores al VO_2máx. En cambio, otros autores como Argemi R. (1), plantean una diferenciación entre un esfuerzo intervalado de velocidad o resistencia a la velocidad (definido éste por Argemi R. como esfuerzos supramáximos al 150% del VO_2máx o mayor) y un esfuerzo intermitente (cuya intensidad es representada por intensidades similares a la Velocidad Máxima Aeróbica (VAM) o superiores en no más de un 5 ó 10%.

Uno de los temas a resolver en esta revisión, será entonces describir qué ocurre en el metabolismo muscular durante este tipo de esfuerzo intermitente, según los trabajos de investigación enmarcados en este tipo ejercicio.

[1]VAM: En 1984, Daniels y Col. Calcularon la velocidad en VO_2máx (y la abreviatura vVO_2máx fue introducida), a partir de la extrapolación de la curva de regresión relacionando la velocidad de carrera y el VO_2 al VO_2máx. Así, la vVO_2máx era una variable útil que combinaba el VO_2máx y la economía de carrera en un solo factor que podría identificar diferencias entre varios corredores o categorías de corredores. Por lo tanto, la vVO_2máx explicaba diferencias individuales en el rendimiento que el VO_2máx o la economía de sólo no lo podían hacer. Y es así, que Di Prampero (1986), definió a la $V_A$máx como la V_AM que un corredor puede mantener durante una carrera bajo condiciones aeróbicas y depende tanto de la potencia metabólica máxima disponible y el costo energético neto de la carrera (7). Esta V_AM se expresa en km . h^{-1}, en m . min^{-1} ó en m . seg^{-1}.

Procesos metabólicos musculares durante el ejercicio intermitente

Rol de la Hemoglobina y la mioglobina

En un estudio de Åstrand P-O. y Col. en 1960 (2,3), se sometió a un sujeto a ejercitarse intermitentemente (en cicloergómetro) durante 1 minuto y descansar durante 2 minutos, y pudo continuar durante 24 horas antes de quedar agotado, con una concentración de lactato sanguíneo de 15.7mmol . l^{-1}; cuando el mismo sujeto al ejercitarse con un ritmo de esfuerzo alto, a 412watts, al cabo de 3 minutos, quedó exhausto. Así, ellos realizaron otros protocolos (30”x60”, 10”x20”, de trabajo y pausa, respectivamente, con valores de lactato diferentes. En la Figura 1, observamos que con turnos de 10” de duración interrumpidos por períodos de descanso de 20”, los músculos intervinientes y sus procesos metabólicos podían someterse a mayores demandas sin una fatiga excesiva ¿cómo puede explicarse que una potencia que exige un VO_2 que excede la absorción máxima de O_2 del sujeto (medido a nivel pulmonar) pueda ejercitarse sin apoyo apreciable de procesos anaeróbicos? La Figura 2 parece responder esta cuestión.

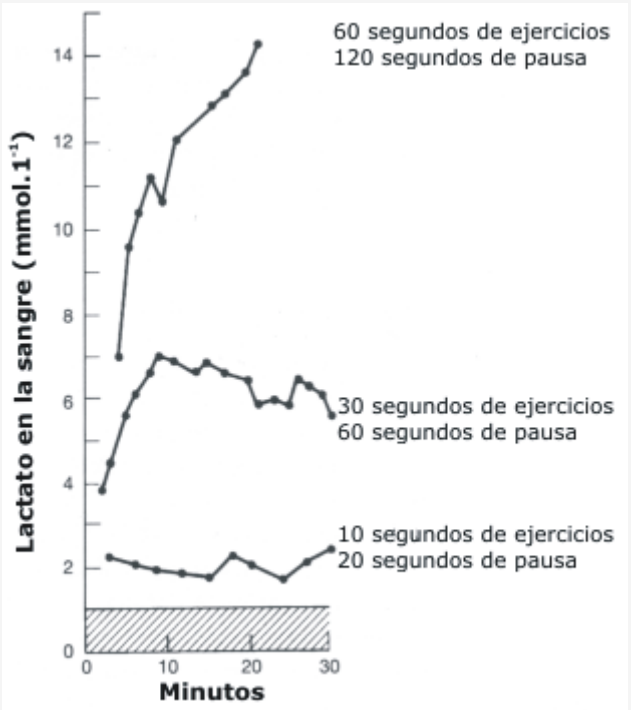


Figura 1. *Concentración de lactato en la sangre en una producción total de trabajo de 247kj (25.200kpm) en 30 minutos. El ejercicio se realizó con una potencia de 412w (2.520kpm . min^{-1}), siendo los períodos de ejercicio 10, 20, 30 y 60 segundos, y los períodos de*

descanso de 20, 60 y 120 segundos, respectivamente. El área sombreada inferior muestra la concentración de lactato en reposo.

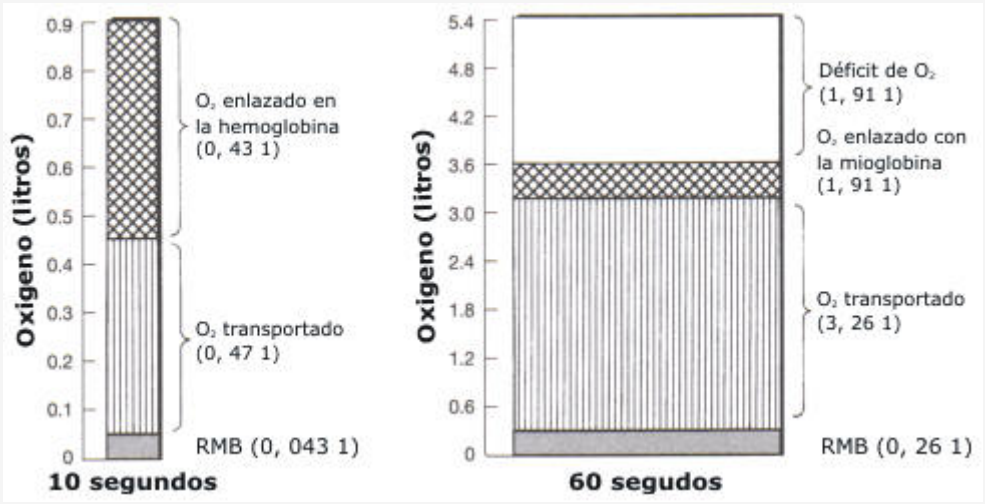


Figura 2. *La demanda de oxígeno para 10 y 60 segundos con una potencia de 412 vatios. El dibujo esquemático indica el ritmo metabólico basal (RMB), las fracciones calculadas de oxígeno combinado con la hemoglobina y transportado por la sangre, y el déficit de oxígeno. De Åstrand y col. (1960). Ref. (2).*

Cuando un sujeto se ejercita intermitentemente en turnos de 10", hay una dilatación de los vasos sanguíneos que irrigan a los músculos más activos, lo cual asegura un buen aporte de sangre y, en consecuencia, un buen aporte de oxígeno tanto durante el ejercicio como en la pausa. Además, hay una reserva de O_2 en la mioglobina que puede consumirse durante el turno de ejercicio (2). Aunque las reservas de O_2 en la mioglobina son relativamente pequeñas, alrededor de 500ml por masa muscular, tiene un papel importante en el suministro de energía en el trabajo inicial y de corta duración, de forma que las reservas de O_2 en la mioglobina constituyen un 20% de la energía requerida para un trabajo intensivo de 15 segundos (31). Durante el siguiente período de descanso, este depósito se rellena fácilmente con O_2, siendo esta reposición de aproximadamente la mitad de las reservas de O_2 de la mioglobina (31). Así, Åstrand P-O. y Col. (10) tenían la hipótesis de que el depósito de O_2 (representado por la mioglobina) era usado en la fase inicial de trabajo antes que la respiración y la circulación sean capaces de alcanzar los valores que corresponden a la demanda real de O_2. La reserva de O_2 calculada en el experimento de Åstrand P-O., era de alrededor de 0.43 litros (10). Con el turno de 60 minutos de ejercicio, se calculó que faltaban 1.9 litros de O_2 (ver Figura 2), y que, en consecuencia, debía haber procesos anaeróbicos que prestaban su constitución (2). Estas fluctuaciones de las reservas de O_2 estimularán el aumento de la capacidad de la mioglobina. En consecuencia, las duraciones básicas de trabajo para la capacidad de la mioglobina tiene que ser igual a 10-15 segundos (31).

El suministro de O_2 hacia los músculos activos

En una revisión de Conley y Col. (20) se menciona que la desaturación de O_2 de la mioglobina es clara aún al 50% del VO_2máx, y esta desaturación ocurre muy rápidamente. Y hay una "re-saturación" (recarga) cuando el ejercicio cesa durante al menos 45 segundos. Esta rápida desaturación de la mioglobina al 50-60% es indicativo del uso inmediato de al menos la mitad de los depósitos de O_2 de la mioglobina. También Bangsbo y Col. (4,5), afirman que es evidente que el VO_2 muscular comienza dentro de los primeros segundos de ejercicio, y muy probablemente, comience aún antes, ya que hay una posibilidad de utilización significativa del O_2 unido a la mioglobina en la primera fase del ejercicio (0-20"). Respecto a esto último, se ha observado que la mitad del O_2 guardado y asociado a la mioglobina, determinado por espectroscopia de resonancia magnética nuclear H1, era usado dentro de los 20 segundos de ejercicio dinámico. Es decir, parece ser que después de unos pocos segundos de "retraso" de solamente 3 segundos, hay un pronunciado aumento en la extracción del O_2 desde la hemoglobina por los músculos activos, pero toma algo de 45-50 segundos antes que la extracción sea máxima (4,5). Hay hallazgos que indican que el suministro de O_2 está en exceso con respecto a la demanda en la fase inicial del ejercicio dinámico y que el suministro de O_2 no es limitante para el VO_2 de lo músculos (4) como tampoco limita la utilización de O_2 durante el ejercicio concéntrico (5). Debe tenerse en cuenta que una extracción de O_2 no máxima de los músculos activos en la fase inicial de ejercicio es debido a una distribución ineficiente (no óptima) del flujo sanguíneo. Son

varios los estudios que puntualizan claramente que una limitación local de la utilización del O_2 muscular y la disponibilidad del O_2 hacia los músculos activos no influencian la dinámica del VO_2 al comienzo del ejercicio dinámico. Otras condiciones donde se ve afectada la utilización del O_2 pueden ser ejercitarse en supino, donde el VO_2 pulmonar y el flujo sanguíneo se las piernas son menores con respecto a una posición de pié (4). También la hipoxia y los β-bloqueantes pueden causar un cambio en el VO_2 pulmonar. Otro factor en la limitación en la utilización máxima del O_2 de los músculos activos en la fase inicial de ejercicio es el rol de la PDH (piruvato deshidrogenasa), provocando una insuficiente provisión de acetil-CoA hacia el ciclo de Krebs, como resultado de un mayor retraso en la actividad de la PDH, en tanto, otros estudios desechan esta posibilidad (4,5). El ejercicio repetitivo produce una elevada tasa de la utilización del O_2, aunque se desconocen los mecanismos, uno de ellos podría ser un bajo pH muscular causado por el aumento del ácido láctico, pero hacen falta más estudios (4).

En un estudio de Christmass M.A. y Col. (16), una disminución en la hemoglobina relativa al comienzo de un ejercicio de carrera intermitente intenso (120% del VO_2pico, 12" de trabajo por 18" de pausa) indicó que los mecanismos de suministros de O_2 no podían igualar inmediatamente la demanda, y por lo tanto, mantener la concentración capilar de O_2 en los valores básicos. A través de una espectroscopia casi infrarroja (NIRS, near-infrared spectroscopy), se pudo observar el nivel de estado estable de la hemoglobina relativa durante el ejercicio intermitente, que era caracterizado por una declinación cíclica en la oxigenación durante los períodos de trabajo, seguido por una re-oxigenación durante la recuperación (Ver Figura 4).

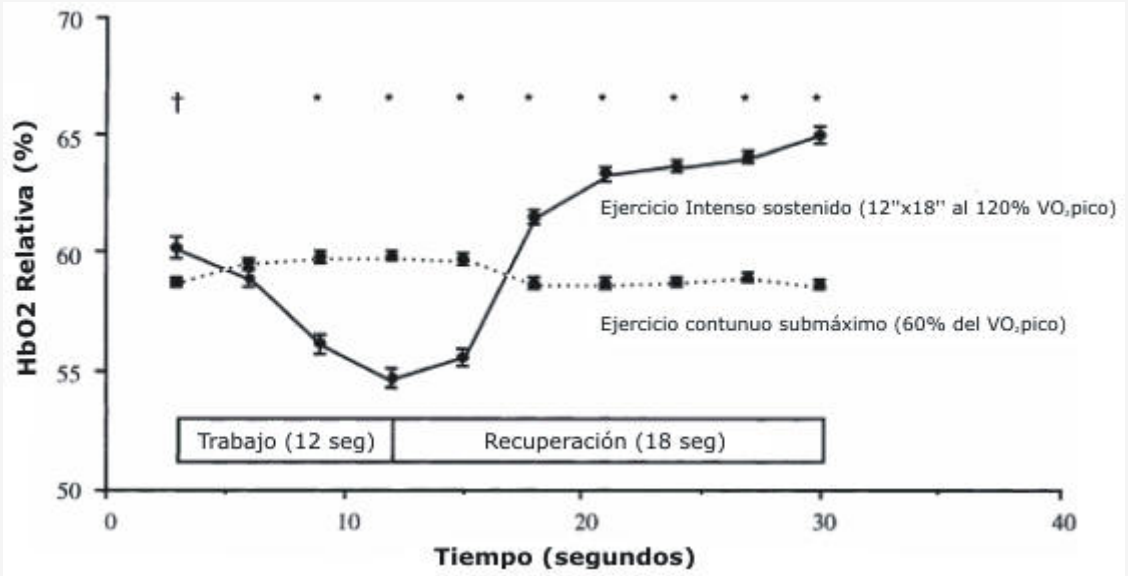


Figura 4. *Oxigenación relativa del músculo cuádriceps durante el período de análisis (un ciclo de trabajo y pausa) de datos en el ejercicio intermitente sostenido y ejercicio continuo submáximo. † P < 0.05, * P < 0.001, diferencias significativa entre los protocolos de ejercicio.*

Como vemos en esta figura, el punto más bajo alcanzado de la hemoglobina durante el ejercicio intermitente comparado al ejercicio submáximo continuo (60% del VO_2pico, 0% de inclinación en cinta ergométrica), refleja una discrepancia comparablemente mayor entre la demanda de O_2 y el suministro. En este contexto, recordemos que Katz y Sahlin en 1987, definían a la hipoxia del músculo esquelético como una declinación en la disponibilidad del O_2 (suministro) relativa ala tasa de utilización de O_2 (demanda) en el tejido (16). También, en el estudio de Christmass M.A. (16) se sostuvo una correlación entre la velocidad de carrera y la declinación en el contenido de O_2 en la hemoglobina a través de los distintos protocolos.

Otro estudio del mismo autor (17), se observa que en un ejercicio intermitente durante 2 protocolos de 24"x36" y de 6"x9", de trabajo y pausa (igual relación 1:1,5) a igual intensidad (65 y 71% del VO_2pico respectivamente) en cinta ergométrica e igual duración total de trabajo (40 minutos), después de una declinación global a través de varios ciclos de trabajo: pausa, la hemoglobina muscular relativa alcanzó un estado estable dinámico en ambos protocolos (Ver Figura 5). Este dato demuestra la discrepancia entre el suministro y la demanda de O_2 requerido durante el ejercicio intermitente. De allí, la importancia del período de recuperación para lograr un estado estable entre la desoxigenación y la reoxigenación para ser alcanzados con estos protocolos (17). En la Figura 5 se puede observar una hipoxia relativa a pesar de una intensidad de

ejercicio baja, en donde la declinación en el estado de la hemoglobina es una consecuencia de la duración del período de trabajo (2,3,17).

También, en una revisión de Laursen P.B. y Jenkins D.G. (28) se menciona que los atletas se tornan hipoxémicos durante el ejercicio de alta intensidad, aumentando los niveles de mioglobina en respuesta al estrés hipóxico.

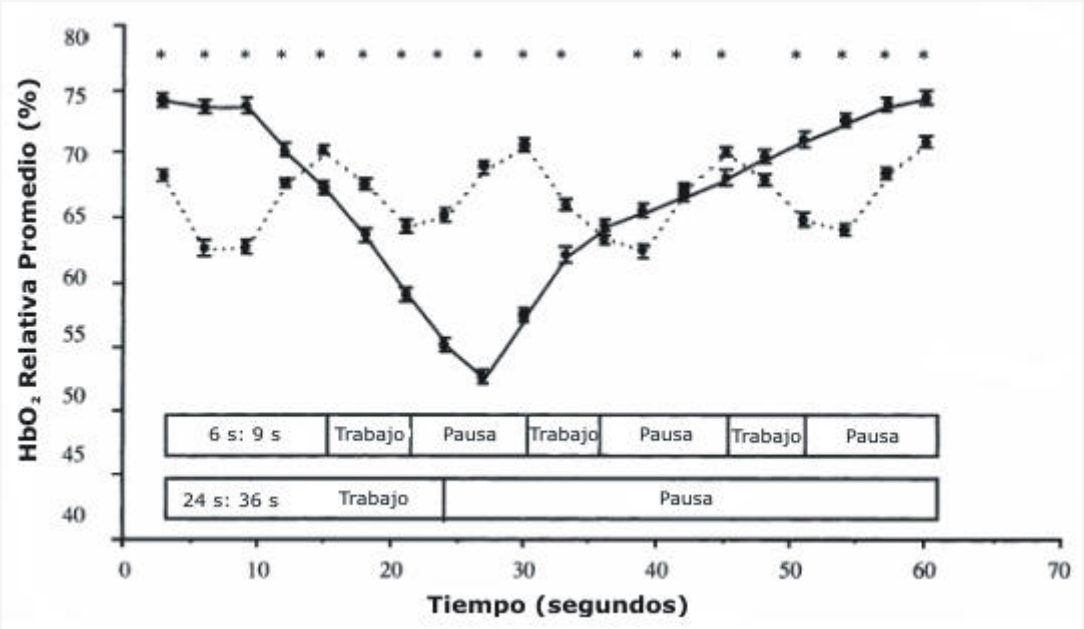


Figura 5. *Oxigenación relativa del músculo cuádriceps durante el período de análisis de datos en el ejercicio intermitente largo (24":36", líneas sólidas) y el ejercicio intermitente corto (6":9", líneas punteadas) de similar duración e intensidad global. * P < 0.001 Diferencia significativa entre los protocolos de ejercicio.*

Bioenergética del Esfuerzo Intermitente

En otro experimento (2), un sujeto corriendo 10" y descansando 5" fue capaz de prolongar el período total de ejercicio más el de descanso a 30 minutos con una velocidad que normalmente le hubiese agotado después de unos 4 minutos de correr en forma continua. Incluso, en un estudio de Åstrand P-O. (3), un sujeto en cicloergómetro realizó turnos de una hora a carga constante (64,800kpm) haciendo ejercicios de trabajo-pausa de 30"x30", 1'x1', 2'x2' y 3'x3', respectivamente. Se encontró que el modelo 30"x30" produjo la eficiencia mecánica más alta, en tanto aumentaba el intervalo de trabajo, empeoraba dicha eficiencia mecánica. Lo sorprendente fue también los valores de lactato en el modelo de 30"x30" ya que fueron menos de la mitad de los alcanzados con el modelo 1"x1", y mucho menos que los restantes tipos de ejercicios intermitentes nombrados anteriormente (2'x2' y 3'x3'). Con estos datos, en donde grandes grupos musculares podían ser entrenados sin sobrecargar simultáneamente a los órganos circulatorios y respiratorios, se usó el término "ultra-short training" (entrenamiento ultra-corto). Es decir, este entrenamiento ultra-corto es una forma de estimular la adaptación aeróbica en la periferia mientras no se exige los mecanismos centrales (respiración, circulación, generación de calor) del trabajo aeróbico, a través del uso de los depósitos de O_2 en los músculos y en sangre (15).

Christensen E.H. y Col. (14), determinaron que 2 sujetos entrenados podían correr continuamente durante 3 ó 4 minutos respectivamente sobre una cinta ergométrica a 20km . h^{-1}, alcanzando valores máximos por el VO_2 y para el ácido láctico. Al final de este tiempo, cuando ellos habían corrido una distancia total de 1 y 1.3km, respectivamente, ellos estaban totalmente exhaustos y necesitaban mucho tempo para recuperarse. Pero, corriendo a la misma velocidad en forma intermitente con períodos cortos de trabajo y pausa, el carácter del trabajo cambiaría totalmente; a pesar de una marcada disminución en el VO_2 durante los períodos de trabajo reales, el ejercicio pudo ser realizado sin o con solamente un aumento comparativamente ligero en la concentración de ácido láctico sanguíneo, indicando condiciones de trabajo aeróbicos, incluso, estos investigadores recalcan que la respuesta al trabajo intermitente es individual (ya en 1960!).

En el estudio de Margaria R. y Col. (29), el tiempo total de carrera hasta el agotamiento realizando una carrera ininterrumpida, o sino 10" de ejercicio por 10", 20" y 30" de pausa (intensidad: 18km . h^{-1} + 15% de inclinación en cinta

ergométrica), resultó en casi 3 veces mayor para los 10”x10”, 6 veces mayor para los 10”x20”, y en el caso de los 10”x30 de pausa, se pudo llevar a cabo en forma indefinida (ver Tabla 1).

Carrera Ininterrumpida, seg	Carrera 10”x10”, seg	Carrera 10”x20”, seg	Carrera 10”x30”, seg
35”	95”	205”	indefinido

Tabla 1. *Tiempos totales de carrera (velocidad: 18km . h^{-1}). Valores promedios.*

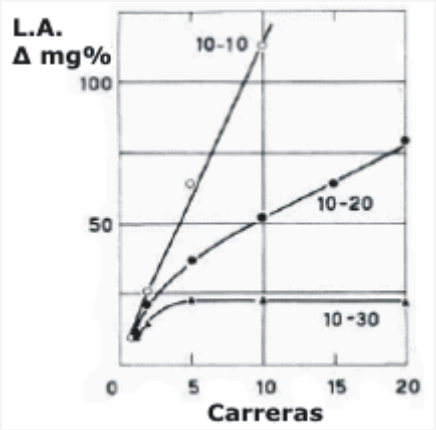


Figura 3. *Concentración de ácido láctico (L.A.) por arriba de los niveles de reposo, en el trabajo intermitente (10 segundos) en función del número de carreras para las tres series de los ejercicios, con períodos de pausa de 10, 20 y 30 segundos respectivamente. Ver. Ref. Margaria (29).*

En el formato 10”x30”, se produjo un “estado estable” de producción de lactato (Ver Figura 3). También en este mismo estudio, se calculó el “costo” del débito aláctico de O_2, siendo un proceso exponencial y muy rápido, con un tiempo de recuperación de alrededor de 20-25 segundos, ya que el autor estableció que la disponibilidad de esta fuente es reducida al final de dicha carrera a sólo el 10%. Durante los siguientes 25” del descanso, el “pool” aláctico es reestablecido a casi el 45% por el costo del débito de O_2, con las consiguientes repeticiones, éste débito de O_2 aláctico se empieza a reducir dando lugar a los mecanismos de débito de O_2 láctico. En la Figura 3, Margaria (29) acusa que el costo de este débito de O_2 láctico es despreciable y por ello no se muestra en tal figura, ya que el ritmo de desaparición del ácido láctico desde la sangre en la recuperación es muy bajo (29).

Recordemos que Åstrand P-O. y Christensen E.H. para explicar los bajos valores de ácido láctico durante los turnos cortos de ejercicio y descanso, propusieron que la mioglobina funciona como un depósito de O_2 durante los períodos cortos de trabajo muscular pesado (2,3,10,14,15).

Dinámica metabólica del esfuerzo intermitente

Ya Margaria y Col. (29) observaban que en esfuerzos supramáximos de 10-15” podían realizarse sin una elevación significativa del lactato sanguíneo, y que eran efectuados por la división de los fosfatos altos en energía (ATP y PC) dentro del músculo. Ellos asumían que la depleción de los fosfágenos precedía a la glucogenólisis que conlleva a una producción mayor de lactato, con el consiguiente camino hacia una posible fatiga muscular (27,29). Sin embargo, hoy sabemos que esto no es tan así. Jacobs I. y Col. (27), por ejemplo, encontraron una pronunciada acumulación (7-8mmol . l –1 a los 4 minutos) de lactato muscular después de 10 segundos de ejercicio supramáximo en cicloergómetro, e indicaron que la glucogenólisis anaeróbico comienza con un “retraso” muy corto de tiempo después del comienzo de un ejercicio de alta intensidad, lo cual marca una participación de los CHO (hidratos de carbono) en este tipo de esfuerzos (ellos encontraron también en ese estudio, que las mujeres acumulaban menos lactato que los varones).

Un estudio de Gaitanos G.C. y Col. (25), se observaron cambios metabólicos en un ejercicio intermitente de intensidad

máxima (10 repeticiones de 6”x30” de pausa en cicloergómetro). En el sprint final de esa serie de 10, la potencia alcanzó el 73% de la del sprint inicial, sosteniendo que la energía era derivada principalmente de la PCr y de la glucogenólisis anaeróbica, pero que la resíntesis de ATP en las series finales derivaba de la degradación de la PCr y del metabolismo oxidativo (Ver Figura 6).

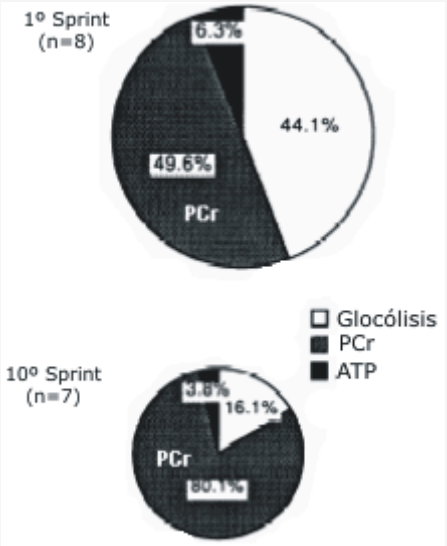


Figura 6.*Producción total anaeróbica de ATP.*

También, Bogdanis G.C. y Col. (13) como Bangsbo J. y Col. (6), y otros más, observaron que en esfuerzos máximos muy breves (0-20”) la potencia no cae o no se reduce en la misma magnitud con que lo hace el nivel de PCr, siendo posible que los músculos utilicen fuentes energéticas aeróbicas para compensar la disminución del metabolismo anaeróbico durante las fases finales de los sprints (repetitivos o no). Un ejemplo que ilustra esto, en el estudio de Bodganis (13) se encontró que el ritmo de recambio de ATP a partir de fuentes anaeróbicos durante un sprint máximo de 20” caía sólo un 51%.

Duración de ejercicio exhaustivo (seg)	% Anaeróbico	% Aeróbico
0 - 10	94	6
0 - 15	88	12
0 – 20	82	18
0 – 30	73	27
0 - 45	63	37
0 - 60	55	45
0 – 75	49	51
0 - 90	44	56
0 – 120	37	63
0 – 180	27	73
0 - 240	21	79
A aproximadamente ± 10% al 95 del nivel de predicción		

Tabla 2.*(ver Ref. 26).*

En la Tabla 2, se puede observar la contribución de los sistemas energéticos para un período de ejercicio máximo. La interacción y contribución de los sistemas energética de los sistemas energéticos serán dependientes de la intensidad, duración y modo de ejercicio (26).

Pero volviendo al ejercicio intermitente, hay varios estudios que analizan la dinámica metabólica de este tipo de esfuerzo.

Essen B. y Col. (24), demostraron que la reducción en el contenido de glucógeno era menor al igual que el lactato y el contenido de malato después de realizar un ejercicio intermitente (15"x15") de 60 minutos, comparado con un ejercicio continuo realizado hasta el agotamiento (4-6 minutos) con igual carga de trabajo, lo cual indica una menor tasa de glucólisis. Ellos presumían que el ATP, la PCr y el citrato actuaban como factores reguladores de la glucólisis en el músculo humano, y por lo tanto, podría haber una mayor utilización relativa de los lípidos durante el ejercicio intermitente intenso comparado al ejercicio continuo. Otro trabajo de Essen B. y Col. (22) usando 60 minutos de ejercicio intermitente (15" en VAM y 15" de pausa) comparado con 60 minutos de ejercicio continuo a una carga del 50% del VO_2máx, ella demostró que en altas cargas similares, menos glucógeno era utilizado y los lípidos contribuían más al metabolismo oxidativo para el tipo de ejercicio intermitente. La respuesta metabólica global a este tipo de ejercicio es muy similar al ejercicio continuo a casi la mitad de la carga que durante una carga igualmente alta. Por lo tanto, el ejercicio intermitente resultó en una menor depleción de glucógeno y en una mayor depleción de los triglicéridos intramusculares comparado al esfuerzo continuo de baja intensidad. Esto es consecuencia de una mayor estimulación de la respiración mitocondrial en presencia de ácidos grasos (10). También se debe tener en cuenta que la eficiencia oxidativa del músculo, puede explicarse por un cambio en la permeabilidad de la membrana interior mitocondrial debido a cambios en la composición de los fosfolípidos, que puede lograrse por el entrenamiento aeróbico de larga duración; por lo cual, el estatus de entrenamiento está más relacionado a esta capacidad oxidativa muscular que la composición del tipo de fibra o de la densidad mitocondrial como antes se pensaba (36).

En el estudio de Christmass M. (16), donde sujetos activos completaron 90 minutos de ejercicio intenso de carrera intermitente (12"x18" de trabajo por pausa al 120% del VO_2pico), podemos observar (en la Figura 7) que el gasto energético fue el mismo para ambos protocolos, aunque el R fue más alto para el ejercicio intermitente comparado al continuo (0.99 vs 0.93, respectivamente). La tasa de oxidación de grasas fue casi 3 veces menor durante el intermitentef comparado al continuo (6.3±0.9µmol . kg^{-1} . min^{-1} vs 17.9±1.6µmol . kg^{-1} . min^{-1}, respectivamente). La tasa de oxidación de CHO fue más alta para el ejercicio intermitente que para el ejercicio continuo (264±5µmol . kg^{-1} . min^{-1} vs 229±6µmol . kg^{-1} . min^{-1}, respectivamente). En ambos protocolos, las tasas de oxidación de CHO y de lípidos se mantuvieron constantes entre los 22.5 minutos y los 90 minutos.

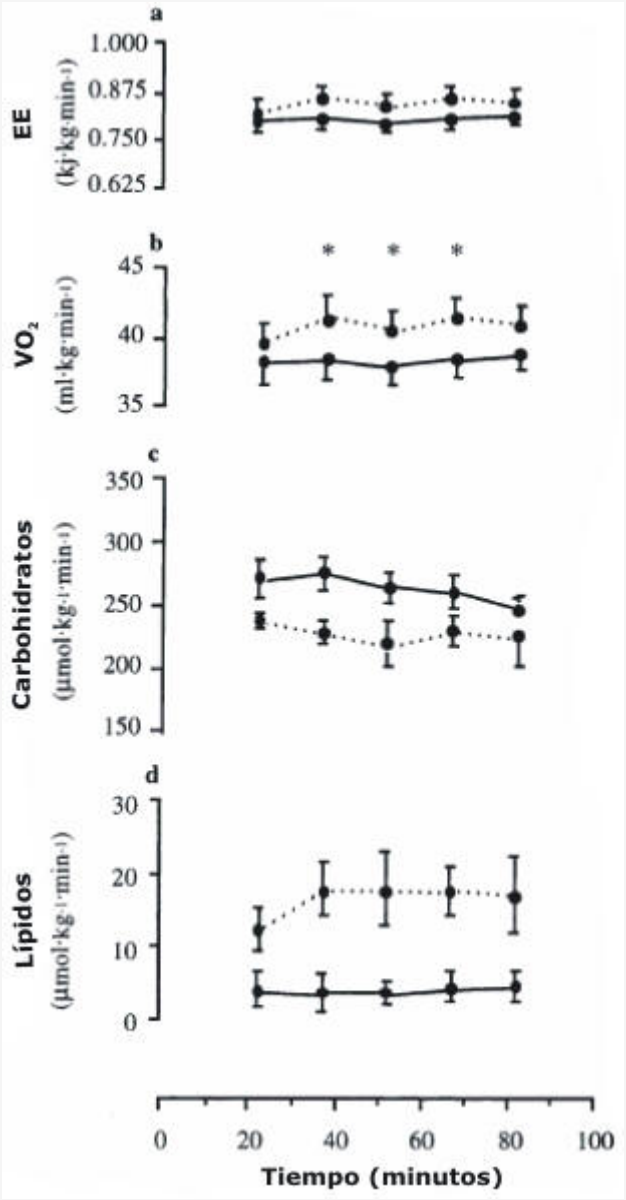


Figura 7. *A, gasto energético (EE); b, Consumo de oxígeno (VO_2máx); c, tasa de oxidación de los carbohidratos; y d, tasa de oxidación de lípidos durante el ejercicio intermitente intenso (líneas sólidas) y ejercicio continuo submáximo (líneas punteadas). * $P < 0.05$ Diferencia significativa entre los protocolos de ejercicio.*

Por lo tanto, estos datos contradicen los hallazgos de Essen B. (22), aunque difieren en las intensidades globales utilizadas en cada estudio (55% del VO_2máx y 70% del VO_2pico, para Essen y Christmass, respectivamente). Esta mayor aceleración y utilización de los CHO en el estudio de Christmass M.A. (19), podría deberse a una menor disponibilidad de O_2 muscular, que tiene implicaciones para la regulación de la oxidación de los lípidos, ya que las grasas requieren más O_2 para producir ATP que los CHO (16,17).

Este mismo fenómeno ocurrió en el otro estudio de Christmass M.A. (17), en donde un grupo de sujetos sanos realizaron 2 protocolos de carrera intermitente en cinta ergométrica. Los 2 protocolos tenían similar velocidad (22km . h^{-1} igual al 109±5% del VO_2pico) y similar duración (40 minutos) e igual relación trabajo y pausa (IC, intermitente corto: 6":9"; e IL, intermitente largo, 24":36). Como podemos ver en la Figura 8, la oxidación de los lípidos fue mayor durante el IL comparado al IC (11µmol . kg^{-1} . min^{-1} vs 30µmol . kg^{-1} . min^{-1}, respectivamente), aunque no hubo cambios a lo largo del ejercicio en ambos protocolos. Pero, sí hubo una mayor oxidación de CHO en todo momento durante el protocolo de ejercicio IL comparado al IC. Y el R fue más alto durante el IL (0.95) comparado al IL (0.88). Con el lactato y el piruvato ocurrieron diferencias significativas, siendo más alto tanto el lactato como el piruvato en plasma en el ejercicio IL que en el IC (ver Figura 9). Esto significa que la oxidación de los lípidos es aproximadamente 3 veces menor y la oxidación de los

CHO 1.3 veces mayor durante el ejercicio IL comparado al ejercicio IC. Por lo tanto, estos aumentos en la disponibilidad del lactato y el piruvato, como producto de una rápida glucólisis durante el ejercicio intermitente de alta intensidad, puede resultar en una caída en la oxidación de los lípidos, inhibiendo el transporte de ácidos grasos de cadena liviana hacia la mitocondria (16,17,21,23). Christmass M.A. concluyó que factores metabólicos dentro de las fibras musculares oxidativas eran los responsables de la diferencia en la utilización de los sustratos entre el ejercicio IL y el ejercicio IC (17); y que la duración del período de trabajo determina la respuesta metabólica al ejercicio intermitente (2,17,29).

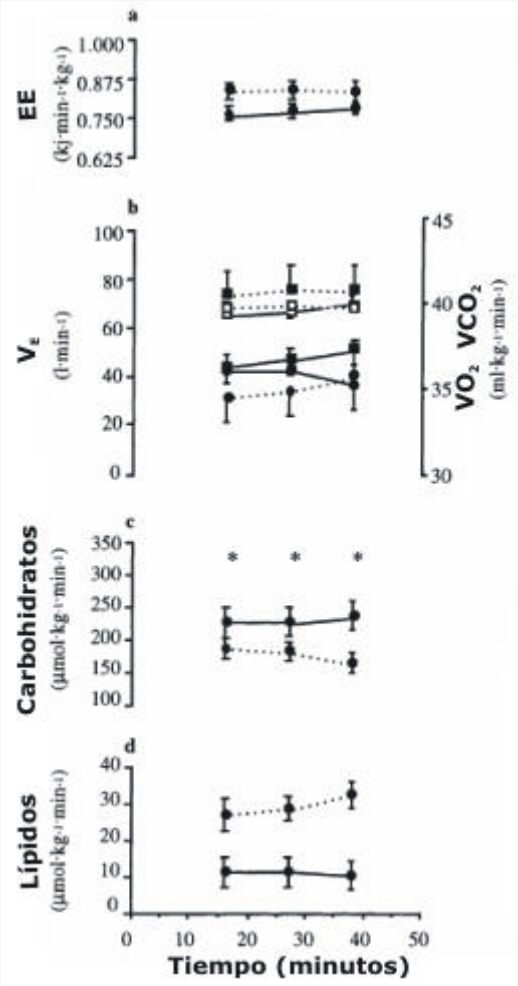


Figura 8. *A, gasto energético (EE); b, Volumen expirado (VE); consumo de oxígeno (VO2) y producción de dióxido de carbono (VCO2); c, tasa de oxidación de carbohidratos; y d, tasa de oxidación de lípidos durante el ejercicio intermitente con una relación trabajo:pausa de 24":36" (líneas sólidas) ó de 6":9" (líneas punteadas). * P < 0.05 Diferencia significativa entre los protocolos.*

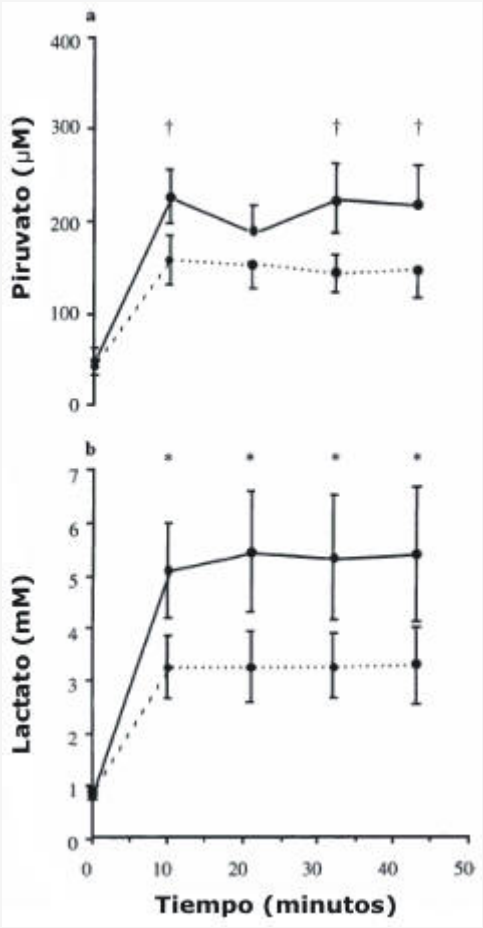


Figura 9. *Lactato y piruvato en plasma durante el ejercicio intermitente con una relación trabajo:pausa de 24":36" (líneas sólidas) ó 6":9" (líneas de puntos). * P < 0.01, * P < 0.001 * Diferencias significativas entre los protocolos.*

Una variante que Christmass M.A. (16) hizo sobre este patrón de protocolos corto (6":9") y largo (24":36), fue introducir un turno de 10 minutos de ejercicio intenso intermitente (24":36") y luego descansar 45 minutos en forma pasiva, y luego realizó los dos protocolos anteriores. Encontró que esta variante (la del ejercicio previo), cambió sustancialmente el uso de sustrato durante el subsecuente ejercicio intermitente, ya que la tasa de oxidación de los lípidos fue más alta comparado a realizar los protocolos sin el ejercicio previo.

En cuanto a otros parámetros fisiológicos del trabajo intermitente podemos citar el trabajo de Christmass M.A. (16) antes mencionado, en donde no encontró diferencias en el hematocrito para un protocolo intermitente y otro continuo. Y el mismo autor en otro estudio (17), no encontró diferencias en los niveles de noradrenalina y adrenalina, desde el reposo y a lo largo del ejercicio, como en el post-esfuerzo. Lo mismo ocurrió con el pH y el bicarbonato capilar (16,17).

Pero también encontramos otros parámetros que se modifican con el ejercicio intermitente, como lo son el VO_2máx y la capacidad anaeróbica. Por ejemplo, Tabata y Col. (33) reportaron que el ejercicio supramáximo en cicloergómetro (8x20" al 170% del VO_2máx, con 10 segundos de pausa) mejora el VO_2máx después de 7 semanas donde los individuos llevaban a cabo 5 sesiones de entrenamiento en 5 días. Este entrenamiento muy corto (casi 5 minutos de trabajo en total) les permitió aumentar tanto el déficit máximo de O_2 acumulado, un indicador de la capacidad anaeróbica (+28%) y el VO_2máx (+13%) (Ver Figuras 10 y 11). La pausa tan corta significa que la potencia promedio es aún muy alta (115% del VO_2máx) y permite que el VO_2 aumente el VO_2máx, como lo demostró este autor un año más tarde en otro se sus estudios (34), en donde un protocolo de ejercicio intermitente corto (6-7 series de 20"x10" de pausa al 170% del VO_2máx en cicloergómetro), exigió máximamente tanto los sistemas de generación de energía aeróbica como anaeróbica, en comparación de un ejercicio intervalado (4-5 series de 30" al 200% del VO_2máx con 2 minutos de pausa.

CONCLUSION

A partir de los datos expuestos previamente podemos hacer algunas inferencias:

a. El ejercicio intermitente es una metodología de entrenamiento que debe investigarse más aún, sobre todo en estudios longitudinales, es decir, de largo plazo para ver su influencia en el "estatus" de entrenamiento.
b. Este tipo de ejercicio es una forma de entrenamiento que prioriza la realización de gestos deportivos en ausencia de una fatiga que altere la técnica a entrenar, gracias a su corto tiempo de ejecución y a su rápida recuperación por cada ciclo de ejercicio. De allí, su gran valor de especificidad.
c. También, como vimos antes, no consume tanto tiempo para su implementación en una sesión de trabajo físico, siendo fácil y práctico su introducción en los ciclos de entrenamiento, en especial cuando se quiere buscar adaptaciones a corto plazo en l oque se refiere adaptaciones periféricas (como por ejemplo, aumentar o "ajustar" el sistema de carga-recarga de la hemoglobina mediante el ejercicio intermitente, sea en la altura o no).
d. La aplicación del ejercicio intermitente con propósitos de planificar un entrenamiento para el control y/o reducción del peso corporal a través de la "quema" de grasas, es dudosa o por lo menos cuestionable, según los estudios comentados anteriormente.
e. Conocer e interpretar las dinámicas metabólicas de este tipo de esfuerzos, permite la creación y la inventiva de prescripciones de ejercicio dentro de los parámetros anteriormente definidos. Las formas varían entre sí (5-5,10-10, 10-15, 10-20, etc.), lo que le da un carácter no rígido para su aplicación práctica.
f. En cuanto a su metodología, escapan su alcance en este trabajo de revisión, ya que se deben tener en cuenta muchos factores que no han sido tratados aquí (frecuencia cardíaca, gasto energético, % del VO_2máx, tiempo límite a velocidad de VO_2máx, RPE, etc.).

REFERENCIAS

1. Argemi R (2003). Ejercicio Intermitente en deportes de conjunto: Análisis y aplicación en el proceso de Entrenamiento deportivo. *http://www.deportesaciclicos.com/*
2. Ǻstrand P.O. y Shephard R.J (2000). La Resistencia en el Deporte. *2da Edición, Ed. Paidotribo, Barcelona, pp. 8-12*
3. Ǻstrand I., Ǻstrand P.O., Christensen E.H., et al (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand; 48: 448-53 (abstract)*
4. Bangsbo J (2000). Muscle oxygen uptake in humans at onset of and during intense exercise. *Acta Physiol Scand; 168(4): 457-64*
5. Billat V., Koralsztein J.P (1996). Significance of the velocity at VO₂max and its time to exhaustion at this velocity. *Sports Med; 22: 90-108*
6. Billat V., Slawinski J., Bocquet V., et al (2001). Very short interval training (15s-15s) around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain VO₂max for 14 min. *Int J Sports Med; 22:201-208*
7. Billat V., Slawinski J., Bocquet V., et al (2000). Intermittent runs at vVO₂max enables subjects to remain at VO₂max for a longer time than submaximal runs. *Eur J Appl Physiol 2000; 81: 188-96*
8. Billat V (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Part 1: aerobic interval training. Sports Med; 31 (1):13□31*
9. Billat L.V (2001). Il contributo della scienza alla allenamento sportivo (1º parte). *SdS Rivista di Cultura Sportiva; anno XX; Nº 53*
10. Billat L.V (2002). Il contributo della scienza alla allenamento sportivo (2º parte). *SdS Rivista di Cultura Sportiva; anno XX; Nº 54*
11. Bogdanis G.C., Nevill M.E., Lakomy H.K., and Boobis L.H (1998). Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand; 163(3): 261-72*
12. Christensen E.H., Hedman R., Saltin B (1960). Intermittent and continuous running. *Acta Physiol Scand; 50: 269-86 (abstract)*
13. Christensen E.H (1962). Speed of work. *Ergonomics; 5:7-13 (abstract)*
14. Christmass M.A., Dawson B., Passeretto P., and Arthur P.G (1999). A comparison of skeletal muscle oxygenation and fuel use in sustained continuous and intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol; 80(5): 423-35*
15. Christmass M.A., Dawson B., and Arthur P.G (1999). Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol; 80(5): 436-47*
16. Christmass M.A., Dawson B., Arthur P.G. and Goodman C (2001). Brief intense exercise followed by passive recovery modifies the pattern of fuel use in humans during subsequent sustained intermittent exercise. *Acta Physiol Scand;172: 39-52*
17. Colli R (2004). L□allenamento intermittente: Principi generali e metodologici. *http://www.preparazioneatletica.it/*
18. Conley K.E., Ordway G.A., and Richardson R.S (2000). Deciphering the mysteries of myoglobin in striated muscle. *Acta Physiol Scand; 168(4): 623-34*
19. Coyle E.F., Jeukendrup A.E., Wagenmakers A.J.M., Saris W.H.M (1997). Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *Am J Physiol; 273:E268-275*
20. Essen B., Hagenfeldt L., Kaijser L (1977). Utilization of blood-born and intra-muscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol (Lond; 265: 489-506 (abstract)*

21. Essen B (1978). Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model. *Acta Physiol Scand Suppl 454:1-32 (abstract)*
22. Essen B. and Kaijser L (1978). Regulation of glycolysis in intermittent exercise in man. *J Physiol; 281: 499 □ 511 (abstract)*
23. Gaitanos G.C., Williams C., Boobis L.H., and Brooks S (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol; 75: 712 - 719*
24. Gastin P.B (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med; 31(10): 725-41*
25. Jacobs I., Tesch P.A., Bar-Or O., Karlsson J., and Dotan R (1983). Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise. *J Appl Physiol; 55: 365 - 367*
26. Laursen P.B. and Jenkins D.G (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med; 32(1): 53-73*
27. Margaria R., Oliva R.D., di Prampero P.E., et al (1969). Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. *J Appl Physiol; 26: 752-6*
28. Millet G. P., Libicz S. , Borrani F. , Fattori F, et al (2003). Effects of increased intensity of intermittent training in runners with differing VO₂ kinetics. *Eur J Appl Physiol; 90: 50□57*
29. Navarro Valdivieso F (1998). □La resistencia□. *Ed. Gymnos, Madrid*
30. Panella M. VAM (2004). dalla teoria alla practica. *Noticiario del Settore Técnico. Federazione Italiana Giuoco Calcio, Nº1, pp. 12-23*
31. Tabata I., Nishimura K., Kouzaki M., et al (1996). Effects of moderateintensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc; 28: 1327-30*
32. Tabata I., Irisawa K., Kouzaki M., et al (1997). Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc; 29: 390-5*
33. Tomlin D.L. and Wenger H.A (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med; 31(1): 1-11*
34. Zoll J., Sanchez H., N'Guessan B., Ribera F., Lampert E., Bigard X., Serrurier B., Fortin D., Geny B., V. Veksler, R. Ventura-Clapier, and B. Mettauer (2002). Physical activity changes the regulation of mitochondrial respiration in human skeletal muscle. *J Physiol; 543: 191 - 200*