

Article

# Entrenamiento de Intervalos de Alta Intensidad (HIIT) en Corredores: Consideraciones Generales

Mg. Federico Fader

*Vidatraining, Mendoza, Argentina.*

## RESUMEN

---

Tanto el entrenamiento de intervalos de alta intensidad o HIIT (High-intensity Interval Training) como su aplicación, se encuentran en el foco de discusión; en parte, a raíz de diversas investigaciones de los últimos años que sugieren adaptaciones centrales superiores a programas de corto plazo de intervalos comparados con ejercicio a menor intensidad.

**Palabras Clave:** entrenamiento de intervalos, intervalado, interval training, alta intensidad

## INTRODUCCION

---

La investigación científica ha arrojado algo de luz sobre la elección de la intensidad, la duración de períodos de trabajo y descanso en el llamado "entrenamiento de intervalos". El entrenamiento de intervalos implica la repetición de cortos a largos períodos de ejercicio de intensidad bastante alta (igual o superior a la velocidad al máximo estado estable de lactato) intercalados con períodos de recuperación (ejercicio ligero o descanso). El entrenamiento de intervalos fue descrito por primera vez por Reindell y Roskamm y fue popularizado en la década de 1950 a través de las hazañas del reconocido atleta Olímpico, Emil Zatopek (Billat V. L., 2001).

Desde entonces, corredores de media y larga distancia han utilizado esta metodología para entrenar a velocidades cercanas a la velocidad específica de su disciplina. De hecho, los entrenadores han utilizado velocidades específicas relacionadas a distancias desde 800 a 5000 m para calibrar el entrenamiento de intervalos sin tomar en cuenta marcadores fisiológicos. Sin embargo, fuera de la temporada de competición parece mejor referirse a las velocidades asociadas con determinadas respuestas fisiológicas en el rango de máximo estado-estable de lactato al máximo estado estable a la velocidad máxima absoluta. El rango de velocidades utilizadas en una carrera debe ser tomado en consideración, ya que incluso los records mundiales nos son corridos a ritmo constante (Billat V. L., 2001).

En comparación con el volumen de investigación que describe las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento de resistencia en individuos sedentarios y entrenados recreacionales, el trabajo que ha examinado las respuestas fisiológicas y de rendimiento en atletas entrenados en base a un programa de entrenamiento modificado es, relativamente pequeña. Debido, en parte, a la dificultad para que los atletas modifiquen sus programas de entrenamiento en función de la investigación, las recomendaciones realizadas por los científicos del entrenamiento a los entrenadores y atletas son ampliamente basadas en estudios de entrenamiento realizados en individuos entrenados recreacionales y sedentarios acompañados de rumores anecdóticos de algunos entrenadores exitosos (Laursen y Jenkins, 2002).

Según Laursen y Jenkins (2002), mientras que en grupos sedentarios y recreacionales siguiendo entrenamiento de resistencia submaximal se identifican mejoras significativas en el rendimiento de resistencia y los marcadores fisiológicos correspondientes, en individuos altamente entrenados, un incremento adicional en el entrenamiento submaximal (volumen) no parece mejorar aún más el rendimiento en resistencia o las variables fisiológicas asociadas [ej: pico de consumo de oxígeno ( $VO_{2peak}$ ), actividad enzimática oxidativa]. Parece ser que, para atletas entrenados, las mejoras en el rendimiento de resistencia pueden ser alcanzadas a través del entrenamiento de intervalos de alta intensidad.

## **ENTRENAMIENTO DE INTERVALOS DE ALTA INTENSIDAD**

---

Siguiendo a Laursen (2012), el entrenamiento de intervalos de alta intensidad es típicamente definido como periodos repetidos de ejercicio de alta intensidad desarrollado por encima del punto de retorno de lactato (un esfuerzo percibido "duro" o superior), intercalados con periodos de ejercicio de baja intensidad o reposo absoluto. El beneficio asumido de realizar entrenamiento de intervalos es la acumulación de mayor cantidad de un estímulo de ejercicio de alta intensidad, en comparación con la situación alternativa en la que es posible realizar una tasa sostenida de alta intensidad de trabajo para toda la sesión de ejercicio. El entrenamiento de intervalos está asociado con un elevado grado de esfuerzo físico, fatiga y malestar agudo, pero cuando es aplicado consistentemente con la recuperación adecuada, se ha demostrado que produce mejoras relativamente rápidas en el rendimiento de resistencia durante un periodo de 2-4 semanas.

## **ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA EN SUJETOS NO ENTRENADOS Y ACTIVOS RECREACIONALES**

---

Siguiendo a Laursen y Jenkins (2002), es generalmente aceptado que muchas de las adaptaciones bioquímicas y fisiológicas que acompañan al entrenamiento de resistencia ocurren en respuesta a un incremento en la demanda de energía de la célula muscular. Diversos estudios de corto y largo plazo en sedentarios han desafiado el sistema energético aeróbico a través del entrenamiento submaximal diario. Las mejoras en la capacidad física de trabajo fueron atribuidas a un incremento en el suministro de oxígeno a los músculos ejercitados (adaptaciones centrales), acompañado de un incremento en la utilización de oxígeno en los músculos implicados en el trabajo (adaptaciones periféricas).

En sujetos no entrenados la hipoxia celular inducida por ejercicio incrementa con el entrenamiento el flujo sanguíneo, el suministro de oxígeno, la extracción de oxígeno y el metabolismo de las grasas en los músculos activos durante el ejercicio submaximal. Como resultado, la contracción muscular se hace más eficiente y la capacidad de trabajo físico se incrementa. Sin embargo, cuando el entrenamiento submaximal de endurance se torna habitual, como es el caso de los atletas de esta especialidad, normalmente no ocurren mayores incrementos en la performance a partir de un incremento del volumen. En efecto, el músculo del atleta entrenado tiene tres a cuatro veces más actividad enzimática oxidativa, más de tres veces la cantidad de capilares por fibra, y un mayor porcentaje de fibras de contracción lenta, cuando se compara con el músculo no entrenado. En estos individuos, mejoras adicionales en la performance de endurance y los marcadores fisiológicos asociados parecen requerir de un estímulo de entrenamiento diferente a un simple incremento de volumen (Kiely, 2012).

En general se cree que en individuos sedentarios ( $VO_{2max} < 45$  ml/kg/min) y activos recreacionales ( $VO_{2máx.} = 45$  a  $55$  ml/kg/min) se requieren varios años para incrementar el  $VO_{2max}$  a niveles similares a los de atletas altamente entrenados ( $VO_{2máx.} > 60$  ml/kg/min) (Laursen y Jenkins, 2002). Sin embargo algunas investigaciones han demostrado como un incremento del ejercicio de alta intensidad en el entrenamiento puede provocar una rápida mejora en la aptitud aeróbica ("aerobic fitness").

En individuos sedentarios y activos recreacionales, el HIIT mejora el rendimiento en resistencia en un mayor grado de aquel logrado solamente con entrenamiento continuo submaximal. Esta mejora aparece debido, en parte, a una elevada regulación de la contribución a la demanda de energía del metabolismo tanto aeróbico como anaeróbico, lo que aumenta la disponibilidad de ATP y mejora el estado de energía en los músculos de trabajo. Una mejora de la capacidad para el metabolismo aeróbico, como lo demuestra el incremento en la expresión de fibras tipo I, capilarización y la actividad enzimática oxidativa es la respuesta más común al HIIT en individuos no entrenados o moderadamente activos.

## ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA EN ATLETAS

---

La investigación ha demostrado consistentemente que el entrenamiento de resistencia en individuos no entrenados incrementa el  $VO_{2\text{máx.}}$ , la densidad capilar, la actividad enzimática oxidativa y el volumen plasmático. Sin embargo, los cambios en estas variables no ocurren cuando sujetos altamente entrenados incrementan el volumen de entrenamiento submaximal. De hecho los atletas entrenados en resistencia y los individuos no entrenados no muestran la misma respuesta al entrenamiento (continuo) submaximal (Laursen y Jenkins, 2002).

Los atletas entrenados cuentan con una elevada capacidad aeróbica, umbral de lactato, y economía de movimiento. En estos sujetos, un incremento adicional en entrenamiento de resistencia submaximal (volumen) no parece mejorar aún más el rendimiento en resistencia o las variables asociadas como el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx.}}$ ), el umbral anaeróbico, la economía de carrera y las enzimas musculares oxidativas.

Es importante destacar que se hace referencia, siguiendo a Laursen y Jenkins (2002), a atletas de alto rendimiento. Aparentemente una vez que un individuo ha alcanzado un  $VO_{2\text{máx.}} > 60$  ml/kg/min, el rendimiento de resistencia no es mejorado por un mayor aumento en el volumen de entrenamiento submaximal.

Generalmente, los programas de entrenamientos llevados a cabo por atletas altamente entrenados en resistencia, consisten en un componente temprano de base aeróbica, complementado con sesiones de HIIT más cerca de la temporada competitiva. A pesar del hecho de que los entrenadores han utilizado durante mucho tiempo HIIT para mejorar el rendimiento de sus atletas de resistencia de elite, los científicos del ejercicio sólo recientemente han creído comprender los mecanismos fisiológicos detrás de la práctica.

## POSIBLES ADAPTACIONES EN RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO INTERVALADO DE ALTA INTENSIDAD

---

Laursen y Jenkins (2002), destacan los mecanismos potenciales responsables de un rendimiento en resistencia mejorado utilizando HIIT en atletas altamente entrenados.

La comprensión de las posibles formas en que el HIIT puede beneficiar el rendimiento de resistencia se hace posible a través del examen de parámetros fisiológicos particulares que han sido identificados como importantes en eventos de resistencia. El  $VO_{2\text{máx.}}$ , la utilización sostenible fraccionada de  $VO_{2\text{máx.}}$ , y la economía de movimiento contribuyen al rendimiento de resistencia.

Las adaptaciones centrales al entrenamiento de resistencia facilitan una distribución mejorada del oxígeno a los músculos de trabajo. Dado que la frecuencia cardiaca máxima se mantiene sin variaciones en respuesta al entrenamiento de resistencia, las mejoras en la distribución de oxígeno a los músculos ejercitados durante el ejercicio de alta intensidad pueden ser atribuidas a un incremento en el *volumen sistólico*. El *volumen sistólico* puede incrementarse a través de una mayor fuerza contráctil del ventrículo izquierdo y/o a través de un aumento de la presión de llenado cardíaco.

Sin embargo, si el *volumen sistólico* se incrementa siguiendo HIIT, en el atleta altamente entrenado puede ser difícil de detectar, así como el  $VO_{2\text{máx.}}$  (que es fuertemente relacionado con el gasto cardíaco máximo), el cual rara vez se ha demostrado que haya cambiado siguiendo HIIT en estos sujetos.

El incremento en el *volumen plasmático* causado por el entrenamiento o la aclimatación al calor, ha sido considerado como el evento más importante en la promoción de la estabilidad cardiovascular y la mejora de la termorregulación durante el ejercicio prolongado. La hipervolemia sirve para minimizar el estrés cardiovascular mediante la prevención de reducciones significativas en la presión arterial media, la presión venosa central, y el llenado del corazón. Ha sido reportado que la expansión artificial del *volumen plasmático* en individuos no entrenados aumenta tanto el  $VO_{2\text{máx.}}$ , como el tiempo del ejercicio hasta la fatiga en un 4% y 11% respectivamente, a pesar de una reducción del 4% en la concentración de hemoglobina. Sin embargo en atletas altamente entrenados, que ya tienen un elevado *volumen plasmático*, la expansión artificial de dicho volumen no parece mejorar significativamente el *volumen sistólico*.

Otro mecanismo potencial que puede ser parcialmente responsable de la mejora del rendimiento de la resistencia siguiendo HIIT en el atleta altamente entrenado es una mejora en la tolerancia al calor a través de una irrigación sanguínea cutánea incrementada y/o tasa de sudoración. El ejercicio de alta intensidad produce elevadas temperaturas

centrales (~40°C), y el entrenamiento de resistencia ha demostrado que amplía de forma independiente el *volumen plasmático*, generando aclimatación parcial al calor. Debido a que se ha establecido una fuerte asociación entre la fatiga volitiva y la temperatura central elevada, es posible que este tipo de atletas puedan adaptarse de alguna manera a sesiones sucesivas de HIIT por medio de regulaciones de temperatura mejoradas. De hecho, el HIIT puede provocar una tolerancia al calor de trabajo en individuos físicamente activos. El hecho de que los atletas entrenados en resistencia poseen una capacidad mejorada para sudar así como una mejor irrigación sanguínea cutánea, apoya a esta como una posible adaptación en respuesta al HIIT.

Las **adaptaciones periféricas** al entrenamiento se refieren a una habilidad mejorada del músculo para producir y utilizar ATP. La integración de las vías metabólicas que sirven para resintetizar ATP y los procesos de excitación-contracción que utilizan ATP, determinan esta eficiencia. El entrenamiento de resistencia promueve un estado de energía mejorado en el músculo que trabaja, como se indica por una mejor protección del potencial de fosfato de alta energía. Se han demostrado incrementos en la **actividad enzimática oxidativa y glucolítica**, acompañados de una capacidad mejorada de ejercicio en individuos no entrenados y activos recreacionales siguiendo HIIT.

Billat (2001) sostiene que el HIIT puede promover una **mayor utilización de ácidos grasos**, incluso en el atleta altamente entrenado. Esto ha sido apoyado por otros autores sugiriendo que un incremento en la intensidad del entrenamiento puede mejorar la **actividad oxidativa enzimática**, incluso en estos atletas.

El incremento de la **capacidad glucogenolítica** es otra vía a través de la cual el rendimiento de resistencia puede ser mejorado. Incrementos simultáneos tanto en la capacidad aeróbica como anaeróbica han sido documentados en individuos no entrenados siguiendo HIIT (Laursen y Jenkins, 2002). Además de los cambios potenciales en la actividad enzimática glucolítica, hay otros mecanismos periféricos que pueden contribuir a una mejora en el rendimiento en atletas altamente entrenados siguiendo HIIT. Esto incluye la capacidad del músculo esquelético para amortiguar hidrogeniones y una alta -o baja- regulación de las bombas de cationes musculares.

La capacidad del músculo de amortiguar hidrogeniones (buffer H<sup>+</sup> ions) está relacionada al rendimiento de sprint en individuos no entrenados y altamente entrenados. Además, el entrenamiento de sprint ha demostrado una mejora en la capacidad tampón en individuos no entrenados y en atletas altamente entrenados. Se sugiere que las mejoras en el rendimiento de resistencia aplicando HIIT pueden estar relacionadas a un incremento de la habilidad de amortiguar hidrogeniones (Laursen y Jenkins, 2002). Una alta concentración de hidrogeniones tiene un efecto inhibitorio en la actividad enzimática, incluida la PFK. Es decir que, la capacidad tampón del músculo podría contribuir a un mejor rendimiento de ATP y ejercicio de alta intensidad mediante la mejora de la actividad de PFK.

El atleta altamente entrenado ya posee una elevada capacidad aeróbica, y un elevado grado de adaptación en numerosas variables fisiológicas asociadas con el suministro y utilización de oxígeno. Además, las mejoras en el rendimiento de resistencia aplicando HIIT, a pesar de ser estadísticamente significativas, han sido relativamente pequeñas (2 a 4%). Un punto es que mientras estas mejoras en el rendimiento son extremadamente importantes para el atleta de elite, pueden ser muy pequeñas para ser detectadas y explicadas estadísticamente.

El entrenamiento de intervalos de alta intensidad, a diferencia del entrenamiento continuo submaximal, alcanza mejoras significativas en el rendimiento de resistencia. Estas mejoras se han manifestado paralelamente a mejoras en el umbral ventilatorio y Ppeak (peak power output), pero generalmente no en el VO<sub>2</sub>máx. o la economía de movimiento. Escasa investigación ha examinado la adaptación de factores centrales y periféricos aplicando HIIT en atletas altamente entrenados. A pesar de esto se ha sugerido que la capacidad tampón muscular puede jugar un rol importante en la mejora del rendimiento de endurance aplicando HIIT. Otros posibles mecanismos a examinar incluyen la expresión de las bombas de cationes, adaptaciones endocrinas y neuromusculares, así como los ajustes en los niveles de mioglobina, densidad capilar, y expresión del tipo de fibra (Laursen y Jenkins, 2002).

## INTENSIDAD

---

Algunos trabajos han utilizado la velocidad a la cual el consumo máximo de oxígeno es alcanzado (V<sub>max</sub>) como la intensidad del intervalo, y fracciones (50% a 75%) del tiempo hasta la extenuación en la V<sub>max</sub> (T<sub>max</sub>) como la duración del intervalo, han tenido éxito en la obtención de mejoras en el rendimiento de corredores de larga duración (Laursen y Jenkins, 2002). La V<sub>max</sub> ha sido mostrada como predictor de la performance en eventos de carrera de media y larga distancia, y parece ser útil para prescribir programas de HIIT.

Periodos repetidos de alta intensidad en un rango de 3 a 6 minutos parecen ser realizados entre el 90-100% del VO<sub>2</sub>máx

por atletas bien entrenados, y se ha convertido en una prescripción común en su entrenamiento (Seiler y Hetlelid, 2005).

Seiler y Hetlelid (2005) sostienen que, si bien el enfoque de intensidad-fija (fixed-intensity) para estudiar las respuestas al entrenamiento de intervalos ha sido muy informativo, a menudo es difícil de lograr en la práctica del entrenamiento. En la investigación realizada por estos autores se analizan las diferencias entre la dosificación de intervalos a través de intensidades fijas de trabajo y la utilización de auto-ritmos determinados por el atleta en base a instrucciones escritas estandarizadas, en ambos casos: tratar cada sesión de intervalos como una sesión de intervalos de alta intensidad (“high-intensity” interval training). Los atletas fueron instruidos a intentar mantener la velocidad promedio más elevada que pudiesen a través de todos los intervalos de trabajo de cada sesión. Los mismos realizaron los intervalos de trabajo sin feedback de la velocidad actual del intervalo, consumo de oxígeno o concentración de lactato en sangre. Sin embargo, se les proporcionó información sobre el tiempo restante en cada periodo de trabajo y descanso.

La intensidad de trabajo no es una función estable de velocidad en muchos deportes debido al terreno variable, viento, condiciones del agua, condiciones de la nieve, etc. En consecuencia, las sesiones de intervalos son normalmente prescritas utilizando la manipulación de variables independientes como la duración del intervalo (distancia o tiempo), tiempo del descanso, y número de episodios de trabajo (i.e., 8 x 3-min de trabajo con 2-min de recuperación caminando). El atleta determina la variable dependiente, la intensidad del ejercicio. El rendimiento durante esta situación de ejercicio parece ser regulada por la interpretación de señales bioquímicas y biomecánicas asociadas a una intensidad de trabajo dada y extrapolada para lograr una meta de ritmo sostenible sobre la duración del trabajo planificada. Este proceso de acoplamiento entre las señales de retroalimentación fisiológica, la percepción, y el ritmo de esfuerzo durante un período de tiempo determinado se ha denominado “teleoanticipation”. La psicofisiología, conectando las alteraciones químicas en torno a las células de los músculos y la interpretación del cerebro de la retroalimentación aferente resultante, es central en cuestiones tales como la estimulación del rendimiento y el concepto relacionado de “teleoanticipation” (Seiler y Hetlelid, 2005).

El análisis de la respuesta de la FC durante el entrenamiento de intervalos revela dos patrones importantes de respuesta a la prescripción de dicho entrenamiento. En primer lugar, se produce la derivación de la FC durante el entrenamiento de intervalos, al igual que en el ejercicio continuo. Esta derivación esperada de la FC debe ser tomada en cuenta, si la FC se utiliza como guía de intensidad durante el entrenamiento aeróbico de intervalos. En segundo lugar, durante el descanso entre periodos de trabajo, la tasa de disminución de la frecuencia cardíaca disminuye progresivamente.

El HIIT ejecutado a una intensidad entre el umbral de lactato y la  $V_{max}$  tiene el potencial de incrementar el  $VO_2$  al nivel del  $VO_{2max}$  (Laursen y Jenkins, 2002). Aunque la velocidad crítica/potencia crítica puede ser apropiada como intensidad de ejercicio para utilizar en el entrenamiento de individuos moderadamente entrenados, una intensidad de ejercicio más demandante es necesaria para el entrenamiento de atletas de elite.

Por su parte Laursen (2012) sostiene que, si el objetivo es mejorar el rendimiento en resistencia, parece ser eficaz realizar entrenamiento de intervalos a intensidades de ejercicio que solicitan el  $VO_{2max}$ , y puede ser valioso trabajar en función de extender el tiempo en el cual se puede mantener esa intensidad de ejercicio durante la sesión de entrenamiento de intervalos.

## VOLUMEN

---

Mientras que los atletas de resistencia son capaces de mantener la velocidad constante a través de periodos de trabajo repetidos, el esfuerzo percibido al lograr esa velocidad se incrementa continuamente de periodo a periodo. Aparentemente 30 minutos de trabajo en un rango cercano al  $VO_{2max}$  representa un límite superior para este tipo de entrenamiento de intervalos (Seiler y Hetlelid, 2005). Un importante mecanismo de fatiga de la unidad motora e incremento del esfuerzo percibido durante el entrenamiento de intervalos puede ser el agotamiento de glucógeno.

Otro factor que ha sido sugerido por investigadores como un componente importante para la mejora del rendimiento en resistencia es la distancia corrida a la  $V_{max}$  durante una determinada sesión de HIIT. En relación, Billat et. al., reportaron que 16 corredores varones altamente entrenados fueron capaces de correr 2.5 veces su distancia en el  $T_{max}$  durante una tarea de HIIT, utilizando una relación 1:1 de trabajo:descanso al 50% del  $T_{max}$ , con recuperación entre intervalos aproximada al 60% de la  $V_{max}$  (Laursen y Kenkins, 2002).

Seiler (2010, 2012) describe que existe un patrón básico, según diversos estudios realizados en atletas competitivos de resistencia, en cuanto a la distribución de la intensidad. Este patrón comprende un 80% de las sesiones de entrenamiento desarrolladas a baja intensidad y el 20% restante es dirigido a entrenamiento de umbral o HIIT. Más precisamente el

entrenamiento de baja intensidad parece enfocarse alrededor de  $\sim 65\% \text{VO}_2\text{máx.}$  y es combinado con una modesta proporción del entrenamiento ( $\sim 20\%$ ) realizado a intensidades entre 85% y 100% del  $\text{VO}_2\text{máx.}$

## DURACIÓN

---

Laursen (2012) sostiene que para optimizar el tiempo llevado a cabo al  $\text{VO}_2\text{máx.}$  durante el entrenamiento de intervalos es importante definir algunos parámetros. Uno de ellos es la velocidad mínima o potencia de salida alcanzada durante un test incremental. Esto básicamente comprende la realización de pequeños incrementos escalonados en la intensidad del ejercicio hasta la extenuación. Luego de que la velocidad ( $V_{\text{max}}$ ) o la potencia de salida ( $P_{\text{max}}$ ) al  $\text{VO}_2\text{máx.}$  es determinada, es necesario determinar durante cuánto tiempo se pueden sostener dichos parámetros. El tiempo hasta la extenuación a la velocidad pico o potencia de salida es conocida como  $T_{\text{máx.}}$

A pesar de la amplia variación en los tiempos entre individuos con valores similares de  $\text{VO}_2\text{máx.}$ , se ha demostrado la reproductividad del  $T_{\text{máx.}}$  en corredores sub-elite (Billat, 1994). El  $T_{\text{máx.}}$  se ha correlacionado negativamente con el  $\text{VO}_2\text{máx.}$  y la  $V_{\text{max}}$ , y positivamente con el umbral anaeróbico.

Según Laursen y Jenkins (2002), en términos de optimización de HIIT, datos preliminares sugieren que el HIIT desarrollado en algún punto entre el 50 al 60% del  $T_{\text{máx.}}$  puede ser óptimo para la mejora del rendimiento de resistencia. Así mismo la prescripción de HIIT en corredores altamente entrenados ha sido exitosa cuando la  $V_{\text{max}}$  es utilizada para establecer la intensidad, y el 50% al 60% del  $T_{\text{máx.}}$  es utilizado para la duración del ejercicio.

Como fue mencionado en el apartado de intensidad, según Seiler y Hetlelid (2005), periodos repetidos de alta intensidad en un rango de 3 a 6 minutos parecen ser realizados entre el 90-100% del  $\text{VO}_2\text{máx.}$  por atletas bien entrenados, y se ha convertido en una prescripción común en su entrenamiento.

## PAUSA

---

Teniendo en cuenta que el propósito del entrenamiento de intervalos es lograr una mayor cantidad de trabajo total a una alta intensidad de ejercicio, el período de recuperación debe permitir altas intensidades de ejercicio que deben alcanzarse en repetidas ocasiones durante los intervalos posteriores. Períodos de recuperación de mayor intensidad (que requieren mayores tasas metabólicas y por lo tanto permiten menos oxígeno para recuperación), o duraciones de recuperación más cortas (que no son lo suficientemente extensas para lograr la recuperación) pueden conducir a una fatiga prematura y/o una alta intensidad de trabajo reducida (Laursen, 2012). Normalmente durante el entrenamiento de intervalos, cuando los atletas seleccionan su intensidad de recuperación, tienden a casi evitar completamente el trabajo (i.e., caminar para un corredor), antes de reanudar un ejercicio de baja o suave intensidad para el balance de la recuperación (i.e., trote suave para un corredor).

Al parecer, bajo condiciones de auto-ritmo (self-paced), variar la duración de la recuperación en un rango de 1 a 4 minutos tiene un efecto limitado en el rendimiento durante periodos repetidos de 4 minutos de alta intensidad (Seiler y Hetlelid, 2005). Aproximadamente 120 segundos de recuperación activa puede proveer un apropiado balance entre restitución intracelular y mantenimiento de elevada cinética de  $\text{VO}_2$ .

En el estudio de Seiler y Hetlelid (2005) el grupo de sujetos que trabajó con auto-ritmo, también recibió instrucciones de seleccionar el tiempo mínimo necesario para mantener la intensidad fijada y completar la sesión de entrenamiento. Estos sujetos determinaron la duración de la recuperación subjetivamente entre los periodos de trabajo, sin feedback en cuanto a tiempo transcurrido o FC durante la recuperación.

Las conclusiones de Seiler y Hetlelid (2005) indican que, dentro del rango típico utilizado para entrenamiento aeróbico en intervalos de alta intensidad, un incremento de cuatro veces en el tiempo de recuperación tiene un impacto muy pequeño en la velocidad de carrera o en respuestas fisiológicas durante sesiones de intervalos de auto-ritmo realizadas por corredores motivados, bien entrenados. Duplicar la recuperación de 1 a 2 minutos resultó en un incremento de un 2% en el promedio de la velocidad de carrera de la sesión. Sin embargo, incrementar el tiempo de recuperación a 4 minutos no indujo un incremento adicional en la intensidad de trabajo alcanzada. Además, cuando los atletas seleccionaron sus propios tiempos de descanso (sin feedback del tiempo transcurrido) durante una sesión de intervalos de intensidad fija, escogieron aproximadamente 120 segundos. Otra conclusión práctica de los autores es que para esta prescripción común de

entrenamiento, un intervalo fijo de descanso de 2 minutos es apropiado y preferible a utilizar la recuperación de la FC como guía.

**Aspectos fisiológicos** según Seiler y Hetlelid (2005): Tres aspectos clave de la recuperación aguda intracelular muscular del ejercicio son: la reposición de fosfocreatina, la eliminación de hidrogeniones, y la restitución del gradiente de potasio transmembrana. La reposición de fosfocreatina sigue un curso de tiempo de dos fases, con un muy rápido componente durante el primer minuto luego del cese del trabajo. Los cambios en la concentración de potasio también serán en gran parte rectificadas en 60 segundos, sin embargo la concentración intracelular de potasio irá declinando gradualmente durante la sesión de intervalos. En contraste, el tiempo medio de recuperación del PH intracelular es más largo, reportado generalmente en el rango de 5-15 minutos.

Considerando que, durante mucho tiempo, las hipótesis han tenido en cuenta a la disminución del PH intracelular como una importante causa de la fatiga del músculo esquelético, los cambios en los [H<sup>+</sup>] han sido temporalmente disociados de la disminución de fuerza muscular y la recuperación.

Los cambios en [Pi] intracelular y [H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>] parecen jugar también un papel importante en la fatiga contráctil. La recuperación intracelular de estos iones sigue un curso temporal más rápido, de tal manera que 1-2 minutos de recuperación sería suficiente para restablecer bajas concentraciones intracelulares para ambos iones y permitir el trabajo continuo a una intensidad cercana al VO<sub>2</sub>máx.

En el trabajo realizado por Seiler y Hetlelid (2005) se destaca que, los sujetos que utilizaron auto-ritmos de intensidad de carrera, alcanzaron un promedio de intensidad de trabajo (90-100% VO<sub>2</sub>máx.) y de concentración de lactato en sangre (6-7 mmol.L<sup>-1</sup>) muy similares a los observados en estudios donde la velocidad de carrera fue fijada en base a testeos preliminares y la duración de la recuperación se encontró dentro del mismo rango. Una guía común para el entrenamiento aeróbico de intervalos de alta intensidad es que la intensidad de trabajo seleccionada en los intervalos iniciales de trabajo debe ser mantenida durante toda la sesión de entrenamiento. Todas estas conclusiones, según estos autores, son consistentes con directrices aceptadas para entrenamiento aeróbico de intervalos de alta intensidad realizados en el rango de 5-10 mmol.L<sup>-1</sup> de lactato en sangre. La concentración de lactato en sangre en este rango puede ser un indicador de que otras alteraciones de iones intracelulares pueden ser restituidas dentro de aproximadamente 120 segundos.

Siguiendo la descripción realizada en el apartado de intensidad sobre las respuestas de la frecuencia cardiaca frente al entrenamiento de intervalos, a pesar del fracaso de la FC al caer a los mismos niveles bajos a medida que la sesión progresa, los atletas fueron capaces de mantener la misma velocidad de carrera durante los periodos de trabajo posteriores. Según Seiler y Hetlelid (2005), suponiendo que la recuperación del ritmo cardíaco no se ve afectada significativamente por la recuperación del músculo esquelético, su utilidad como una herramienta para determinar la duración de la recuperación durante el entrenamiento de intervalos puede llegar a ser cuestionada.

## CONCLUSION

---

En individuos sedentarios y activos recreacionales, el HIIT mejora el rendimiento en resistencia en un mayor grado de aquel logrado solamente con entrenamiento continuo submaximal. Los atletas entrenados cuentan con una elevada capacidad aeróbica, umbral de lactato, y economía de movimiento. En estos sujetos, un incremento adicional en entrenamiento de resistencia submaximal (volumen) no parece mejorar aún más el rendimiento en resistencia o las variables fisiológicas asociadas.

Aparentemente, para atletas entrenados, las mejoras en el rendimiento de resistencia pueden ser alcanzadas a través del entrenamiento de intervalos de alta intensidad. En este sentido, parece eficaz realizar entrenamiento de intervalos a intensidades de ejercicio que solicitan el VO<sub>2</sub>máx., y puede ser valioso trabajar en función de extender el tiempo en el cual se puede mantener esa intensidad de ejercicio durante la sesión de entrenamiento de intervalos.

### Agradecimientos

El autor agradece al Prof. Sebastián M. Gil por su colaboración en esta revisión.

## REFERENCIAS

---

1. Boulosa Álvarez D. A., Tuimil López J. L (2007). Economía de Carrera: Un Parámetro Multifactorial. *PubliCE*. 14/11/07. *Pid*: 895
2. Casas, A (2008). Physiology and Methodology of Intermittent Resistance Training for Acyclic Sports. *Journal of Human Sport and Exercise*. ISSN 1699-1605. Volume 3 Number 1 January
3. Dietrich, Martin; Klaus, Carl; Klaus, Lehnertz (2001). Manual de metodología del entrenamiento deportivo. Editorial Paidotribo
4. Driller M. W., Fell J. W., Gregory J. R., Shing C. M., and Williams A. D (2009). The Effects of High-Intensity Interval Training in Well-Trained Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2009, 4, 110-121. *Human Kinetics, Inc*
5. García-Verdugo Delmas, Mariano (2007). Resistencia y entrenamiento. Una metodología práctica. Editorial Paidotribo
6. Guellich A., Seiler S., and Emrich E (2009). Training Methods and Intensity Distribution of Young World-Class Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4, 448-460. *Human Kinetics, Inc*
7. Hamilton, Ryan J.; Paton, Carl D.; and Hompkins, William G (2006). Effect of High-Intensity Resistance Training on Performance of Competitive Distance Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*; 1:40-49. *Human Kinetics, Inc*
8. Hawley J. A (2008). Adaptaciones del Músculo Esquelético al Entrenamiento de Resistencia Prolongado de Alta Intensidad. *PubliCE*. 05/11/08. *Pid*: 1048
9. Kiely, John (2012). Periodization Paradigms in the 21st Century: Evidence-Led or Tradition-Driven?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7, 242-250. *Human Kinetics, Inc*
10. Laursen P. B., Jenkins D. G (2002). The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training. Optimizin Training Programmes and Maximising Preformance in Highly Trained Endurance Athletes. *Sports Med*; 32 (1): 53-73
11. Mac Dougall D., Macdonald J. R., Green H. J., Hicks A. L., McKelvie R. S., Smith K. M (2004). Rendimiento Muscular y Adaptaciones Enzimáticas al Entrenamiento Intervalado de Sprint. *G-SE Premium*. 28/01/2004. *g-se.com/a/236/*
12. Mujika I (2012). Endurance Training - Science and Practice. *Iñigo Mujika S.L.U*
13. Navarro Valdivieso, Fernando (1998). La Resistencia. Editorial Gymnos
14. Scarfó, Ricardo L (2005). El Ejercicio Intermitente: Perfil Metabólico Muscular. *G-SE*. 24/06/2005. *g-se.com/a/459*
15. Seiler S, Hetlelid K. J (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol 37, No. 9, pp. 1601-1607
16. Seiler S (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 276-291. *Human Kinetics, Inc*
17. Turner, Anthony N (2011). Entrenamiento de la Capacidad Aeróbica en Corredores de Distancia: Una Pausa de lo Tradicional. *PubliCE Standard*. 16/05/2011. *Pid*: 1349
18. Verkhoshansky, Yuri (2007). The Block Training System In Endurance Running. *Published in electronic format by Verkhoshansky.com*
19. Zintl, Fritz (1991). Entrenamiento de la resistencia. Fundamentos, métodos y dirección del entrenamiento. *Ediciones Martinez Roca, S.A*