

Article

Intervalos, Umbrales y Larga Distancia: Rol de la Intensidad y la Duración en el Entrenamiento de Distancia - Parte 2

Stephen Seiler¹ y Espen Tønnessen²¹University of Agder, Faculty of Health and Sport, Kristiansand 4604, Norway.²Norwegian Olympic and Paralympic Committee National Training Center, Oslo, Norway.

UNIDADES PARA LA INTENSIDAD DEL ENTRENAMIENTO

Los esquiadores de fondo tienen un estatus bastante legendario en el ámbito de la fisiología del ejercicio por su capacidad aeróbica y su nivel de resistencia en brazos y piernas. Seiler et al. (2006) realizaron un estudio con 12 varones de 17 años de elite que participaban en competencias nacionales, que pertenecían a una escuela secundaria especial de esquí de la región. El VO_{2max} medio del grupo era $72 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$. Fueron guiados por entrenadores que tenían experiencia en el entrenamiento de equipos nacionales y fueron entrenados siguiendo las mismas líneas de los *seniors*, pero con volúmenes de entrenamiento sustancialmente más bajos. Similarmente a lo que Esteve-Lanao (2005) realizó con los corredores, nosotros usamos el monitoreo de la frecuencia cardíaca para cuantificar todas las sesiones de resistencia y establecimos tres zonas de intensidad aeróbica en función de los umbrales ventilatorios. Además registramos el índice de esfuerzo percibido (RPE) de los atletas utilizando el método de Foster et al. (1996; 1998; 2001a) para todas las series de entrenamiento. Finalmente, determinamos los valores del lactato sanguíneo durante una semana de entrenamiento para relacionar los valores de la frecuencia cardíaca y del esfuerzo percibido con los valores del lactato sanguíneo.

Al comparar los tres métodos diferentes de cuantificación de intensidad, abordamos el problema de cómo cuantificar mejor la intensidad del entrenamiento. El monitoreo de la frecuencia cardíaca es claramente un método atractivo. Podemos almacenar datos de frecuencia cardíaca, podemos descargar entrenamientos completos a los software de análisis y podemos cuantificar el tiempo en que la frecuencia cardíaca cae dentro de las zonas de intensidad específicas predefinidas. Usando este enfoque de "tiempo en la zona", observamos que el 91% del tiempo total de entrenamiento se destinaba a una frecuencia cardíaca por debajo de la intensidad del VT_1 , ~6% entre VT_1 y VT_2 y sólo 2,6% de todos los registros de frecuencia cardíaca de 15 segundos fueron realizados por encima de VT_2 . Luego cuantificamos la intensidad asignando cada sesión de entrenamiento a una de las tres zonas sobre la base de la meta de entrenamiento y el análisis de la frecuencia cardíaca. Esta metodología fue denominada "metodología de objetivo por sesión". Para las series continuas de baja intensidad, utilizamos la frecuencia cardíaca promedio de toda la serie. Para las series diseñadas como entrenamiento umbral promediamos la frecuencia cardíaca durante los períodos de entrenamiento umbral. Para las sesiones de entrenamiento intervalado de alta intensidad, basamos la intensidad en la frecuencia cardíaca pico media para cada serie intervalada. Usando este enfoque, la distribución de intensidad derivada de las respuestas de frecuencia cardíaca coincidió estrechamente con las mediciones de RPE de la sesión (Figura 4), de distribución de entrenamiento diario basada en la descripción del entrenamiento y con las mediciones de lactato sanguíneo. La coincidencia entre la cuantificación de la frecuencia cardíaca sesión por sesión y la asignación de la intensidad en función del RPE fue 92%. En

sus diarios de entrenamiento, los atletas registraron 30-41 sesiones de entrenamiento en 32 días y describieron 75% de sus series de entrenamiento como continuas de baja intensidad, 5% como entrenamientos en el umbral y 17% como entrenamiento con intervalos.

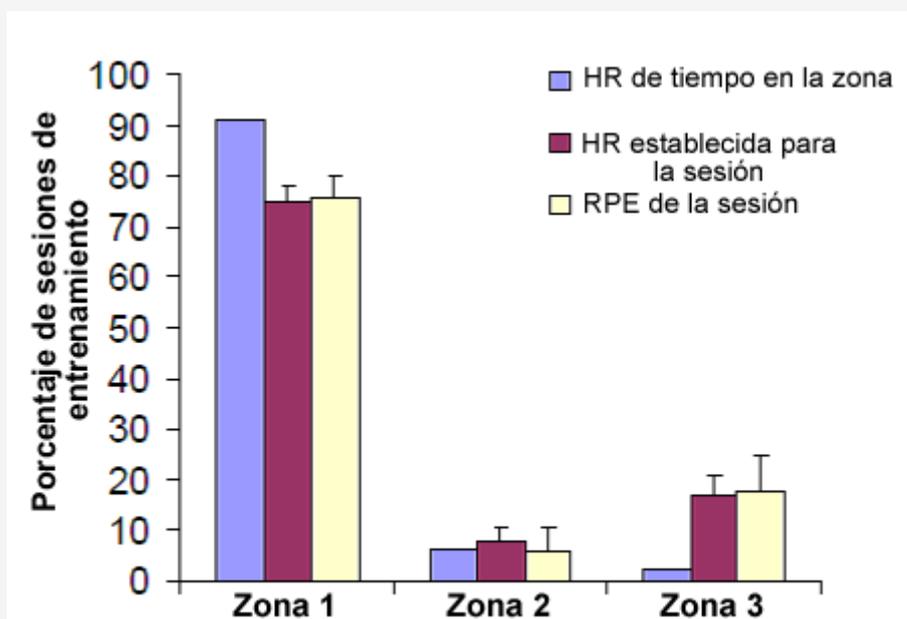


Figura 4. Comparación de la distribución de intensidad de entrenamiento en esquiadores de fondo menores altamente entrenados, utilizando las metodologías tradicionales de tiempo en la zona de frecuencia cardíaca (HR), análisis de la meta de HR de la sesión y el índice de esfuerzo percibido de la sesión (RPE). Los datos de tiempo en la zona representan la distribución total del tiempo de entrenamiento de todos los atletas combinados. Datos extraídos de Seiler y Kjerland (2006) y graficados nuevamente.

Recientemente también observamos la misma desigualdad de tiempo en zona al cuantificar la distribución de intensidad en el entrenamiento de fútbol (datos no publicados). Parecería claro que los métodos de análisis típicos de frecuencia cardíaca realizados con software sobrestiman la cantidad de tiempo del entrenamiento realizado en intensidad baja y subestiman el tiempo destinado a cargas de trabajo muy altas en comparación con la percepción de esfuerzo del atleta. Nosotros pensamos que esta desigualdad es importante, porque la unidad de estrés percibido frente a la cual responde el atleta es el estrés de la sesión de entrenamiento completa o quizás del día de entrenamiento, no a los minutos en cualquier zona de frecuencia cardíaca dada.

REGLA 8-20 PARA LA INTENSIDAD

A pesar de las diferencias en los métodos para cuantificar la intensidad de entrenamiento, todos los estudios anteriores demuestran una consistencia notable en el modelo de distribución del entrenamiento seleccionado por los atletas de resistencia exitosos. Aproximadamente realizan 80% de las sesiones de entrenamiento predominantemente en intensidades por debajo del primer umbral ventilatorio, o en una concentración de lactato sanguíneo $\leq 2\text{mM}$. El ~20% de las sesiones restantes se distribuyen entre entrenamiento en o cerca del umbral de lactato tradicional (Zona 2) y entrenamiento en intensidades de 90-100% del $\text{VO}_{2\text{max}}$, generalmente en forma de entrenamiento intervalado (Zona 3). Por lo tanto es probable que un atleta de élite que entrena 10-12 veces por semana dedique 1-3 sesiones semanales a entrenar en las intensidades correspondientes al estado estable de lactato máximo o por encima del mismo. Esta regla empírica coincide perfectamente con estudios de entrenamiento que demostraron la eficacia de agregar dos sesiones de entrenamiento intervalado por semana a un programa de entrenamiento (Billat et al., 1999; Lindsay et al., 1996; Weston et al., 1997). Seiler y Kjerland (2006) fueron más lejos al afirmar que la distribución de intensidad óptima se aproxima a una distribución "polarizada" con 75-80% de las sesiones de entrenamiento en la Zona 1, 5% en la Zona 2 y 15-20% en la Zona 3. Sin

embargo existe una considerable variación en cómo distribuyen la intensidad del entrenamiento dentro de las Zonas 2 y 3 los atletas que compiten en diferentes deportes y en eventos de diferentes duraciones.

¿Por qué surgió este modelo de entrenamiento? No contamos con investigaciones suficientes para contestar esta pregunta, pero podemos hacer algunas suposiciones razonables. Un grupo de factores involucraría el potencial de esta distribución para estimular mejor la constelación de adaptaciones al entrenamiento necesarias para un rendimiento de resistencia máximo. Por ejemplo, los grandes volúmenes de entrenamiento en intensidad baja podrían ser óptimos para maximizar las adaptaciones periféricas, mientras que los volúmenes relativamente pequeños de entrenamiento de alta intensidad cubrirían la necesidad de optimizar la señalización para mejorar la función cardíaca y la capacidad buffer. Técnicamente, una gran cantidad de entrenamiento en baja intensidad podría ser efectivo porque permitiría que las numerosas repeticiones estimulen los adecuados patrones motores. En el otro lado de la ecuación de adaptación-estrés, está el estrés inducido por el entrenamiento. Los atletas pueden migrar hacia una estrategia en la cual se sustituya una duración más larga por intensidad más alta para reducir las reacciones de estrés asociadas con el entrenamiento y facilitar una rápida recuperación del entrenamiento frecuente (Seiler et al., 2007). Notablemente, Foster y colegas informaron una distribución de intensidad muy similar en ciclistas profesionales durante las 3 semanas y + de 80 horas de los principales tours, como el Tour de Francia. Quizás esta distribución sea un tipo de ritmo que surge durante los meses de entrenamiento de élite (Foster et al. 2005).

La "intensidad baja", entre 50% del VO_{2max} y justo por debajo del primer umbral de lactato, representa un amplio rango de intensidad para atletas de resistencia. Probablemente existe considerable variación individual en donde, dentro de este rango, los atletas acumulan la mayoría de su volumen de entrenamiento de baja intensidad. Hay consideraciones técnicas que pueden influir: los atletas tienen que entrenar en una intensidad lo suficientemente alta para permitir la técnica correcta. Por ejemplo, el ganador de la medalla olímpica dorada de canotaje de aguas tranquilas, el noruego Eric Verås Larsen, explicó que la razón por la cual la mayoría de su entrenamiento de resistencia continuo en la Zona 1 estaba mas cerca del umbral del lactato de lo normalmente observado era que en intensidades menores no podía remar con la técnica de competición (comunicación personal de Verås Larsen). Dejando esto de lado, nosotros concluimos que una gran parte del entrenamiento dentro de esta zona se realiza a ~60-65% del VO_{2max} . Destacamos que esta intensidad sería similar a la intensidad asociada con la utilización máxima de grasas en los sujetos entrenados (Achten y Jeukendrup, 2003), pero no queda claro por qué la optimización de la utilización de las grasas sería importante para atletas que compiten durante 3-15 min.

VOLUMEN DE ENTRENAMIENTO DE ATLETAS DE ÉLITE

Obviamente, la *distribución de la intensidad* del entrenamiento y el *volumen* de entrenamiento juntos determinarán el impacto del entrenamiento. Los atletas de élite entrenan *mucho*, pero para ser más específicos necesitamos algún parámetro de medición en común para compararlos con los atletas en los diferentes deportes. Los corredores y ciclistas cuentan los kilómetros, los nadadores cuentan miles de metros y remeros y esquiadores de fondo cuentan horas de entrenamiento. Con algunas suposiciones razonables, podemos convertir estos números en horas de entrenamiento anuales. Esta métrica fisiológica es apropiada, porque el cuerpo es sensible al estrés de la duración.

El volumen de entrenamiento aumenta con la edad en los deportistas de alto nivel, principalmente a través de una mayor frecuencia de entrenamiento en los deportes como el *running* y esquí de fondo, pero también a través de los aumentos en la duración promedio de la sesión, particularmente en ciclistas. Un ciclista adolescente talentoso que entrena cinco días por semana podría acumular 10-15 h.sem⁻¹. Un ciclista profesional de Italia que realiza un entrenamiento semanal de 1000-km probablemente estará en la bicicleta entre 25 y 30 h.

Pedalear 30-35000 kilómetros por año a ~35 km/h con sesiones ocasionales de entrenamiento de fuerza, sumará hasta ~1000 h/año. Un maratonista de elite de sexo masculino probablemente nunca correrá más de aproximadamente 15 horas en una semana. A una velocidad de carrera media de 15 km/h serían a lo sumo 225 km. La poseedora del último record mundial de 5 km, 10 km y de maratón, Ingrid Kristiansen entrenó 550 h.año⁻¹ cuando corría (Espen Tønnessen, datos no publicados). Cuando era mas joven y compitió en los Juegos Olímpicos para Noruega en esquí de fondo, entrenó realmente 150 horas mas por año. Bente Skari, una de las mejores esquiadoras de fondo, registró cargas de entrenamiento anuales máximas de 800 h año⁻¹ (Espen Tønnessen, datos no publicados). El volumen de entrenamiento anual medido en horas es de alrededor de 1000 en remeros de clase mundial. Por ejemplo, Olaf Tufte registró 1100 horas de entrenamiento en 2004, cuando obtuvo su primera medalla de oro en el evento de remo individual (Aasen, 2008). En la Figura 5 se presenta su volumen de entrenamiento mensual durante ese año. De ese total de horas, cerca de 92% correspondió a entrenamiento de resistencia y el porcentaje restante correspondió principalmente a entrenamiento de la fuerza. Un nadador campeón de los Juegos Olímpicos como Michael Phelps puede registrar volúmenes de entrenamiento anuales aún más altos, quizás

volúmenes tan altos como 1300 h (una suposición razonable basada en el entrenamiento de otros nadadores con medallas).

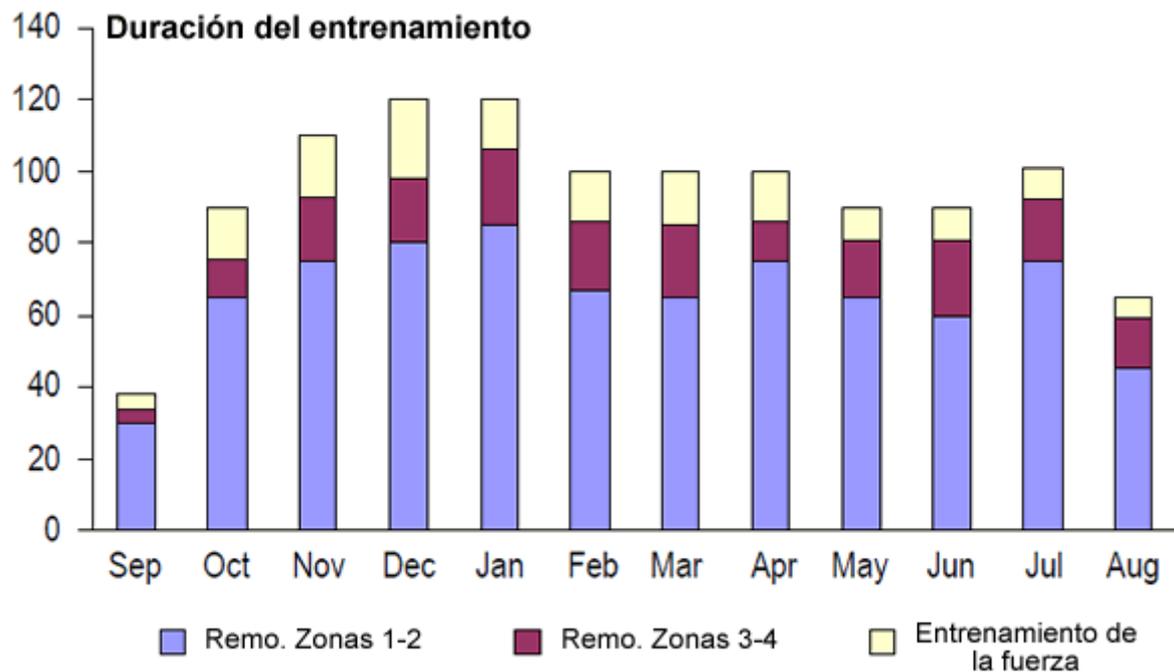


Figura 5. Distribución de la intensidad de entrenamiento anual y volumen de un remero campeón de los Juegos Olímpicos. Los datos corresponden al dos veces ganador de medallas de oro Olaf Tufte en la temporada de entrenamiento 2003-2004. Las olimpiadas se realizaron en agosto. Los datos fueron graficados nuevamente a partir de datos obtenidos de Aasen (2008). Las zonas de entrenamiento son similares a las descritas en la Tabla 1.

Los maratonistas keniatas, ciclistas italianos, remero noruegos y nadadores americanos se encuentran todos en la cima de sus deportes, pero cuando medimos su volumen de entrenamiento en horas, encontramos bastantes diferencias, y el éxito internacional se logra con un rango dos veces mayor o más en cantidad de horas por año (Figura 6). ¿Cómo podemos explicar esta diferencia? Una explicación es que el estrés de carga en los músculos, tendones y articulaciones de los diferentes movimientos varía enormemente. La carrera impone un estrés severo de carga excéntrica que no está presente en el ciclismo o en la natación. Existiría una fuerte relación inversa entre el volumen de entrenamiento tolerado y el grado de estrés excéntrico o balístico del deporte. La natación, el remo y el esquí de fondo son todos eventos muy técnicos con patrones de movimiento que no utilizan las vías motoras genéticamente pre-programadas del *running*. Así los altos volúmenes de entrenamiento pueden ser tan importantes para el dominio técnico como para la adaptación fisiológica en estas disciplinas. Los remeros y los patinadores de velocidad realizan menos entrenamiento movimiento-específico que la mayoría de los otros atletas, pero ellos acumulan una cantidad sustancial de horas adicionales en entrenamiento de fuerza y otras formas de entrenamiento de resistencia.

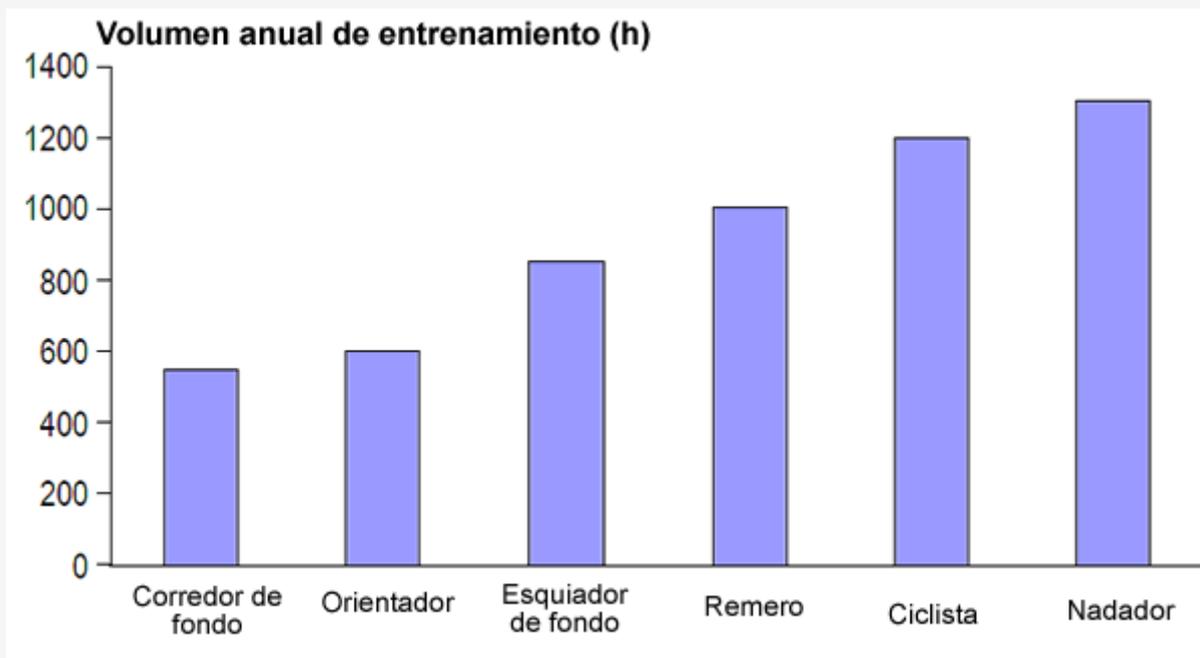


Figura 6. Volúmenes de entrenamiento anuales máximos representativos de atletas campeones de diferentes deportes. Las diferencias de cargas balísticas y excéntricas, las demandas de entrenamiento técnico y el volumen de entrenamiento no específico pueden contribuir con las diferencias.

ESTUDIOS DE ENTRENAMIENTO DE ALTA INTENSIDAD

La distribución de intensidad de entrenamiento "80-20" que se observa para los atletas exitosos ¿es realmente óptima? o ¿una redistribución de la intensidad del entrenamiento hacia un entrenamiento intervalado más umbral y de mayor intensidad y menor entrenamiento de larga distancia lento permitirán obtener mejores ganancias y mayores rendimientos?. Los defensores de volúmenes grandes de entrenamiento intervalado podrían invocar el famoso *principio de Pareto* y podrían proponer que siguiendo esta "regla" de efectos versus causas, estos atletas están logrando 80% de sus ganancias adaptativas con 20% de su entrenamiento y desperdiciando una valiosa energía de entrenamiento. En los últimos 10 años, se han publicado varios estudios que abordaron este cuestionamiento.

Evertsen et al. (1997; 1999; 2001) publicaron el primero de tres trabajos de investigación de un estudio que consistió en la intensificación del entrenamiento de 20 esquiadores de fondo menores y altamente entrenados, que competían a nivel nacional o internacional. Todos los sujetos habían entrenado y habían competido regularmente durante 4-5 años. En los dos meses previos al comienzo del estudio, 84% del entrenamiento se realizó a 60-70% del VO_{2max} , y el resto al 80-90% del VO_{2max} . Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a un grupo de entrenamiento de intensidad moderada (MOD) o a un grupo de entrenamiento de alta intensidad (HIGH). El grupo MOD mantuvo esencialmente la misma distribución de intensidad de entrenamiento que habían utilizado previamente, pero el volumen de entrenamiento aumentó de 10 a 16 h sem^{-1} . El grupo HIGH invirtió la distribución de intensidad utilizada al inicio de modo que 83% del tiempo de entrenamiento se realizara a 80-90% del VO_{2max} , y sólo 17% se realizara como entrenamiento de baja intensidad. Este grupo entrenó 12 h sem^{-1} . La intervención de entrenamiento duró cinco meses. El control de la intensidad se realizó con un monitor de frecuencia cardíaca y muestreos de la concentración de lactato sanguíneo.

A pesar del volumen de entrenamiento 60% mayor en MOD y quizás 400% más entrenamiento en el umbral del lactato o por encima del mismo en HIGH, los cambios fisiológicos y de rendimiento fueron modestos en ambos grupos en los atletas que ya estaban altamente entrenados. Los hallazgos de los tres *papers* se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de los estudios de intensificación del entrenamiento de 5 meses realizados con esquiadores de fondo bien entrenados (Evertsen et al. 1997; Evertsen et al., 1999; Evertsen et al., 2001).

	Alta intensidad (n=10)	Intensidad moderada (n=10)
VO _{2max}	↔	↔
Velocidad en el umbral del lactato	↑3 %	↔
Carrera de 20-min con pendiente de 9 %	↑3,8 %	↑1,9 %
Tipo de fibra	↔	↔
Actividades enzimáticas		
Transportador MCT 1	↔	↓12 %
Transportador MCT 4	↔	↔
Citrato sintasa	↔	↔
Succinato deshidrogenasa	↑6 %	↔

Gaskill et al. (1999) publicaron los resultados de un proyecto de 2 años que involucró a 14 esquiadores de fondo que entrenaban dentro del mismo club y deseaban que su entrenamiento fuera monitoreado y manejado. El diseño fue interesante y prácticamente relevante. Durante el primer año, todos los atletas entrenaron de manera similar, realizaron un promedio de 660 horas de entrenamiento con 16% en el umbral del lactato o por encima del mismo (distribución nominal de sesiones). Se utilizaron los resultados de tests fisiológicos y de rendimientos en carreras durante el primer año para identificar a siete atletas que habían respondido bien al entrenamiento (respondedores) y siete que presentaban valores pobres de VO_{2max} y de progresión del umbral del lactato y resultados deficientes en las carreras (no respondedores). En el segundo año, los que habían tenido una respuesta positiva continuaron usando su programa de entrenamiento establecido. Los que no habían tenido una buena respuesta realizaron un programa de entrenamiento con una intensidad mayor con una ligera reducción en las horas de entrenamiento. Los no respondedores del año 1 presentaron mejoras significativas con el programa de mayor intensidad en el año 2 (VO_{2max}, umbral del lactato, puntos de carrera). Los respondedores positivos del año 1 presentaron en el año 2 un desarrollo similar al del año 1.

En este contexto, es interesante señalar que en la actualidad muchos atletas de élite extienden la periodización de su entrenamiento a un ciclo olímpico de 4 años. El primer año después de una olimpiada es una "temporada de recuperación", seguida por una temporada de construcción, luego una temporada con un volumen de entrenamiento muy alto, y finalmente una temporada olímpica en la cual el volumen de entrenamiento se reduce y se pone énfasis en la especificidad de la competencia. La variación en el patrón de entrenamiento puede ser importante para el desarrollo máximo, pero estos ritmos de entrenamiento a gran escala no han sido estudiados.

Esteve-Lanao et al. (2007) dividieron aleatoriamente en dos grupos de entrenamiento (Z1 y Z2) a 12 corredores de fondo subelite que fueron supervisados cuidadosamente durante cinco meses. Ellos basaron su distribución de intensidad de entrenamiento en el modelo de 3-zonas descrito previamente determinadas a partir de valoraciones realizadas en cinta rodante. Sobre la base del monitoreo de tiempo-en-zona de frecuencia cardíaca el grupo Z1 realizó 81, 12, y 8% del entrenamiento en las Zonas 1, 2, y 3 respectivamente. El grupo Z2 realizó más entrenamiento umbral con 67, 25, y 8% del entrenamiento en las tres zonas respectivamente. Es decir, el grupo Z2 realizó dos veces más entrenamiento en el umbral del lactato o cerca del mismo. En una comunicación personal, los autores informaron que en los esfuerzos pilotos, fueron incapaces de lograr un aumento sustancial en el tiempo total destinado a la Zona 3, debido a que era demasiado duro para los atletas. La carga de entrenamiento total fue equiparada entre los grupos. La mejora en una prueba contrarreloj de fondo realizada antes y después del período de cinco meses reveló que el grupo que había realizado más entrenamiento en la Zona 1 presentó una mejora en el tiempo de carrera significativamente mayor (-157±13 contra -122±7 s).

Recientemente, Ingham et al. (2008) realizaron un estudio con 18 remeros varones estándar de nivel nacional del UK en el cual fueron asignados al azar a uno de dos grupos de entrenamiento inicialmente similares sobre la base de evaluaciones fisiológicas y de rendimiento. Todos los remeros habían tenido un período post temporada de 25-d sin entrenamiento justo antes de las evaluaciones realizadas al inicio del estudio. Un grupo realizó "100%" de todo el entrenamiento en intensidades por debajo de la intensidad que permite alcanzar el 75% del VO_{2max} (LOW). El otro grupo realizó 70% del entrenamiento en las mismas intensidades bajas y 30% de entrenamiento a una intensidad en el punto intermedio entre la potencia en el umbral del lactato y la potencia en el VO_{2max} (MIX). En la práctica, el grupo MIX realizó entrenamiento de alta intensidad alta 3 d sem⁻¹. Todo el entrenamiento se realizó durante las 12 semanas en un remoergómetro. Los dos

grupos realizaron volúmenes casi idénticos de entrenamiento (~1140 km en el ergómetro), con $\pm 10\%$ de variación individual permitida para acomodar la variación estándar del atleta. Los resultados del estudio se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Resumen de los cambios fisiológicos y de rendimiento observados en remeros entrenados que realizaron 12 semanas de entrenamiento de baja intensidad o de intensidad mixta (70% baja, 30% alta) (Ingham et al. 2008).

	Baja intensidad (n=9)	Intensidad mixta (n=9)
Velocidad 2000-m	↑2 %	↑1,4 %
VO ₂ max	↑11 %	↑10 %
Potencia en concentración de lactato de 2 mM	↑10 %	↑2 %
Potencia en concentración de lactato de 4 mM	↑14 %	↑5 %
Diferentes cinéticas de VO ₂	↔	↔

Dieciséis de los 18 sujetos obtuvieron nuevas mejores marcas personales en el test con ergómetro de 2000-m al final del estudio. Los autores concluyeron que los entrenamientos del grupo LOW y MIX ejercieron efectos positivos similares para el rendimiento y el consumo de oxígeno máximo. El entrenamiento LOW habría inducido un mayor cambio hacia la derecha en el perfil del lactato sanguíneo durante el ejercicio sub-máximo que no se tradujo en una ganancia significativamente mayor de rendimiento. Si el entrenamiento MIX mejoró o mantuvo la capacidad aeróbica más que el entrenamiento LOW, esto habría sido compensado por las diferencias observadas en el perfil del lactato sanguíneo.

INTENSIDAD PARA LOS ATLETAS RECREACIONALES

Los atletas de resistencia de élite entrenan 10-12 sesiones y 15-30 h por semana. ¿Es adecuado el modelo de 80% por debajo y 20% por encima del umbral del lactato para los atletas recreacionales que entrenan 4-5 veces y 6-10 horas por semana?. Casi no disponemos de datos publicados sobre este cuestionamiento. Recientemente Esteve-Lanao (comunicación personal) realizó un estudio interesante en corredores recreacionales en el cual comparó un programa que fue diseñado para reproducir el entrenamiento polarizado de atletas de resistencia exitosos y lo comparó con un programa construido alrededor de mucho más entrenamiento umbral siguiendo las recomendaciones de ejercicio del ACSM. La distribución de intensidad establecida para los dos grupos fue: Grupo Polarizado 77-3-20% y Grupo ACSM 46-35-19% para las zonas 1, 2, y 3 respectivamente. Sin embargo, el monitoreo de la frecuencia cardíaca reveló que la distribución real fue: Polarizado 65-21-14 % y ACSM 31-56-13 %.

La comparación de las distribuciones deseadas y las alcanzadas pone en evidencia un error típico de los atletas recreacionales. Podemos llamar a esto entrar en un "agujero negro" de intensidad de entrenamiento. Es difícil que los atletas recreacionales que entrenan 45-60 min por día 3-5 días no acumulen mucho tiempo de entrenamiento en el umbral de lactato. El entrenamiento diseñado para ser mas largo y lento se vuelve demasiado rápido y su duración se acorta y el entrenamiento intervalado no alcanza la intensidad deseada. El resultado es que la mayoría de las sesiones de entrenamiento terminan siendo realizadas en la misma intensidad del umbral. Foster et al. (2001b) también observaron que los atletas tienden a correr más difícilmente en los días fáciles y más fácil en los días duros, en comparación con los diseños de entrenamiento de los entrenadores. Esteve Lanao consiguió exitosamente establecer dos grupos para distribuir la intensidad de manera muy diferente. El grupo que entrenó más polarizado, con más tiempo de entrenamiento en intensidad baja, logró una mejora significativa en su rendimiento en 10-km en las semanas 7 y 11. Por lo tanto, los atletas recreacionales también podrían obtener beneficios al realizar las sesiones de intensidad baja y alta en la intensidad prevista.

El entrenamiento intervalado puede ser realizado eficazmente con numerosas combinaciones de duración de trabajo, duración de descanso e intensidad. Hemos observado que cuando los sujetos seleccionan ellos mismos la velocidad de

carrera en base a una prescripción estándar, una duración de trabajo de 4-min y una duración de recuperación de 2-min se combinan para producir la mayor respuesta fisiológica y la mayor velocidad mantenida (Seiler y Sjursen, 2004; Seiler y Hetlelid, 2005). Sin embargo las diferencias en las respuestas perceptuales y fisiológicas a lo largo del espectro típico de trabajo y recuperación son bastante pequeñas y las diferencias de mejora en el rendimiento son poco claras. Algunos investigadores han propuesto que regímenes de intervalos específicos (por ejemplo, 4 × 4 min a 95% del VO_{2max}) pueden ser mejores para alcanzar las mejoras adaptativas (Helgerud et al., 2007; Wisloff et al., 2007), pero otros estudios de investigación y nuestras observaciones de prácticas de atletas sugieren que una variedad de combinaciones de duraciones de trabajo y descanso son eficaces para el desarrollo a largo plazo. La Tabla 6 presenta las combinaciones típicas eficaces de intensidad y duración que utilizan los atletas de resistencia de élite durante los entrenamientos en las diferentes zonas de entrenamiento aeróbico que describimos anteriormente. Todos los ejemplos fueron tomados de los registros de entrenamiento de deportistas de élite. Las duraciones efectivas para las diferentes zonas son utilizadas por los atletas altamente entrenados. Para quienes no tienen la misma base de entrenamiento, es posible realizar entrenamientos similares pero realizados con una duración efectiva total menor.

Tabla 6. Sesiones de entrenamiento típicas realizadas por atletas altamente entrenados en cinco zonas de intensidad (Aasen, 2008). *a* No se incluyen los períodos de entrada en calor y de descanso en las series intervaladas. LT= Umbral del lactato (máximo estado estable); Rec= Recuperación.

Zona	VO ₂ (%max)	Ejemplo de sesiones de entrenamiento	Duración posible/ Duración viable ^a
1	45-65	Series continuas	60-360 min
2	66-80	Series continuas	60-180 min
3	81-87	6 x 15 min, 2-min rec 2 x 25 min, 3-min rec 5 x 10 min, 2-min rec 8 x 8 min, 2-min rec LT 40-60 min 50 x 1 min, 20-s rec	50-90 min
4	88-93	10 x 6 min, 2-3-min rec 8 x 5 min, 3-min rec 15 x 3 min, 1-min rec 40 x 1 min, 30-s rec 10 x (5 x 40 s, 20-s rec), Descansos de 2-3-min 30-40 min estado estable	30-60 min
5	94-100	6 x 5 min, 3-4-min rec 6 x 4 min, 4-min rec 8 x 3 min, 2-min rec 5 x (5 x 1 min, 30-s rec), Descanso de 2 a 3-min	24-30 min

ESTUDIOS DE CASOS DE MANEJO DEL ENTRENAMIENTO

Los estudios de casos son el tipo más débil de evidencia científica. Pero, para los entrenadores y para los equipos de apoyo de los atletas de alto rendimiento, cada atleta de élite es un estudio de caso. Por tal motivo presentaremos aquí dos estudios de casos que creemos que pueden ser útiles para demostrar el potencial impacto fisiológico de manejar exitosamente el volumen de entrenamiento y las variables de distribución de intensidad a nivel individual. Ambos casos involucran a atletas noruegos que fueron seguidos muy de cerca por uno de los autores (Tønnessen). Ambos atletas se consideraban altamente entrenados antes de la reorganización del entrenamiento.

Caso 1: De futbolista profesional a ciclista de élite

Knut Anders Fostervold fue jugador de fútbol profesional de la liga de élite noruega entre 1994 y 2002. Una lesión en la rodilla acabó su carrera futbolística a los 30 años y decidió cambiar a ciclismo. Knut tenía una capacidad de resistencia natural muy alta y había corrido 5 km en 17:24 a los 12 años. Después de 15 años de realizar entrenamiento de fútbol a nivel de élite, adoptó un régimen de entrenamiento de alta intensidad para ciclismo que estaba enfocado simplemente en entrenar justo por debajo o en su umbral del lactato y cerca del VO_{2max} ; por ejemplo, 2-3 sesiones de entrenamiento semanales de 4-5 x 4 min a 95% del VO_{2max} . El volumen de entrenamiento semanal no superó las 10 h.

Después de 2,5 años de este entrenamiento de alta-intensidad y bajo volumen, Fostervold comenzó la cooperación con el *Norwegian Olympic Center* y su programa de entrenamiento fue reorganizado radicalmente. Semanalmente el volumen de entrenamiento se duplicó pasando de 8-10 h a 18-20. El volumen de entrenamiento en la Zona 2 fue drásticamente reducido y fue remplazado por un mayor volumen de entrenamiento en la Zona 1. El entrenamiento en la Zona 5 fue remplazado con las Zonas 3 y 4, de modo que el volumen de entrenamiento total en intensidades iguales o por encima del umbral del lactato se duplicó bruscamente sin estresar excesivamente al atleta. La duración efectiva típica de las sesiones con intervalos aumentó de ~20 min a ~ 60 min (por ejemplo 8 x 8 min a 85-90% HRmax con recuperaciones de 2-min). Las zonas de intensidad inicialmente se basaron en la frecuencia cardíaca pero luego fueron ajustadas en relación a las mediciones de lactato y producción de potencia que se realizaron en el campo. La Tabla 7 presenta la distribución de intensidad de entrenamiento y la carga de volumen del atleta durante la temporada antes y después del cambio de entrenamiento hacia un programa de mayor volumen. La Tabla 8 muestra los resultados.

Tabla 7. Comparación de la distribución de intensidad de entrenamiento semanal y el volumen total en las temporadas 2004 y 2005. Caso 1. a Estimación obtenida a partir de los diarios de las primeras 18 semanas.

HRmax= Frecuencia cardíaca máxima.

Zona de intensidad (%HRmax)	Temporada 2004 (h:min)	Temporada 2005 (h:min)
5 (95-100 %)	0:45 (8,5 %)	0:05 (0,5 %)
4 (90-95 %)	-	0:40 (4,0 %)
3 (85-90 %)	0:30 (5,5 %)	1:00 (5,5 %)
2 (75-85 %)	3:05 (36 %)	1:00 (5,5 %)
1 (55-75 %)	4:20 (50 %)	15:20 (85 %)
Total semanal ^a	8:40	18:05
Total anual ^a	420:00	850:00

Tabla 8. Evaluación fisiológica realizada antes y después de la reorganización del entrenamiento. Caso 1. LT= Umbral del lactato.

	Pre	8 semanas post	18 semanas post	Cambio 0-18 sem
Peso (kg)	84	81	84	0 %
VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	81	90	88	11 %
VO_{2max} (L min ⁻¹)	6,8	7,3	7,3	7 %
LT potencia (W)	375	420	440	14 %
LT potencia (W.kg ⁻¹)	4,5	5,2	5,2	15 %

El atleta respondió bien a la amplificación y reorganización de la carga de entrenamiento. Durante la temporada 2005, después de 2,5 años de realizar un programa de entrenamiento de bajo-volumen y alta intensidad, una temporada de entrenamiento con un mayor volumen y menor intensidad promedio produjo una marcada mejora fisiológica y de rendimiento. A pesar de que el entrenamiento del atleta quitó el énfasis en el entrenamiento cercano a la intensidad de su umbral de lactato y en el entrenamiento cerca del VO_{2max} , estos dos parámetros fisiológicos mejoraron notablemente.

Fostervold ganó una medalla de bronce en el campeonato Noruego de pruebas contrarreloj, segundos detrás de los ex

campeones del mundo de pruebas contrarreloj sub 23 y ganadores de etapas del Tour de Francia Thor Hushovd y Kurt Asle Arvesen. Su imposibilidad de tener un rendimiento aún mejor, dado su excepcionalmente alto VO_{2max} , se atribuyó a que tenía menor eficiencia de ciclismo y pobre aerodinámica, y una menor utilización fraccionaria en el umbral del lactato en comparación con los mejores profesionales con muchos años de entrenamiento específico. En 2006 y 2007 representó a Noruega en la prueba contrarreloj del campeonato mundial. Su VO_{2max} absoluto en 2005 fue igual al valor más alto medido alguna vez en un atleta noruego.

Caso 2: De pentatleta moderno a corredor

Antes de 2003, Øystein Sylta era pentatleta militar (Campeón Europeo en 2003). En otoño de 2003 decidió dedicarse a las carreras de fondo y ahora compite a nivel nacional, y sus mejores tiempos personales para la carrera con obstáculos de 3000-m, 5000-m, y 10000-m son 8:31, 14:04 y 29:12 respectivamente. Su caso es interesante debido al cambio drástico que realizó en su volumen de entrenamiento y distribución de intensidad de 2003 a 2004 y los cambios asociados en los resultados de los tests fisiológicos.

Antes de 2003, Sylta entrenaba usando una estructura de entrenamiento de alta intensidad y bajo volumen. Cuando decidió cambiar la metodología, se enfocó en aumentar el volumen de entrenamiento con sesiones de menor intensidad y en modificar su entrenamiento intervalado. Realizaba sesiones de entrenamiento lento de grandes distancias o sesiones largas de entrenamiento intervalado de alta intensidad. Sin embargo, la distancia total de entrenamiento en intensidades por encima de su umbral del lactato se redujo y fue redistribuida. De 2002/2003 a 2003/2004 aumentó su distancia total de carrera de 3500 a 5900 km. También redujo su entrenamiento de la fuerza de 100 horas anuales a 50. La Tabla 9 muestra una semana de entrenamiento duro típica de Otoño de 2003 y de 2004, y en la Tabla 10 se resume el entrenamiento específico de carrera. Su adaptación fisiológica al primer año de entrenamiento reestructurado se presenta en la Tabla 11.

Tabla 9. Comparación de la composición del entrenamiento real durante una semana de entrenamiento duro, otoño de 2003 y otoño de 2004. Caso 2. Antes y después de las sesiones de entrenamiento intervalado se realizó una sesión de carrera liviana de 15-20 min en ambas temporadas. En las dos temporadas, las carreras livianas finalizaron con 5-8 reps x 100 m. Las zonas de intensidad (Z) corresponden a las zonas descritas en la Tabla 7.

Día	Otoño 2003	Otoño 2004
Lunes	60-min carrera, Z1-2	S1: 50-min de carrera, Z1 S2: 65-min de carrera, Z1
Martes	7x1000 m, 90s de recuperación, Z4	S1: 45-min de carrera, Z1 S2: 12 x 5-min, 1-min de recuperación, Z3
Miércoles	S1: 40-min de carrera, Z1 S2: 50-min de carrera, Z1-2 + 45-min de entrenamiento de fuerza	S1: 45-min de carrera, Z1 S2: 75-min de carrera, Z1
Jueves	17x300m, 52s, 40s de recuperación, Z5	S1: 45 min de carrera, Z1 S2: 12 x 3 min, 1-min de recuperación, Z4
Viernes	55min de carrera, Z1	45-min de carrera Z1
Sábado	S1: 40-min de carrera Z1 + 30-min de entrenamiento de fuerza S2: 4 x 7-min intervalos, 2-min de recuperación, Z3	S1: 45-min de carrera, Z1 S2: 60-min de carrera, Z1
Domingo	100-min de carrera Z1	150-min de carrera Z1

Tabla 10. Volumen de entrenamiento y distribución del entrenamiento anual en 2003 y 2004. Caso 2. a Las 100 horas de entrenamiento de la fuerza realizadas en 2003 y las 50 horas realizadas en 2004 no fueron incluidas en los totales.

Zona de intensidad	Temporada 2003	Temporada 2004
5 (95-100 %)	3 % (8 h)	0,5 % (2 h)
4 (90-95 %)	12 % (33 h)	2,5 % (13 h)
3 (85-90 %)	13 % (36 h)	10 % (50 h)
2 (75-85 %)	18 % (49 h)	4 % (20 h)
1 (55-75 %)	54 % (149 h)	83 % (412 h)
Total por año ^a	275 h	497 h

Tabla 11. Evaluación fisiológica antes y después de la reorganización del entrenamiento. Caso 2.

	Septiembre 03	Febrero 04	Cambio
Peso (kg)	74	71	-4 %
VO _{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	76	83	9 %
VO _{2max} (L min ⁻¹)	5,6	5,9	5 %
Umbral del lactato (km h ⁻¹)	16,9	17,7	5 %

De 2003 a 2009, la velocidad de carrera umbral de Sylta aumentó de 16,9 a 19,5 km.h⁻¹. Desde 2002 a 2009, su tiempo en 10-km mejoró de 31:44 a 29:12 y el de carrera con obstáculos de 3000 m pasó de 9:11 a 8:31. En los primeros cinco meses de la reorganización del entrenamiento, los resultados de carreras con obstáculos de 3000-m mejoraron 30 s.

Estos dos estudios de casos demuestran que incluso en los atletas que ya están altamente entrenados, se pueden producir mejoras importantes en los resultados de las pruebas fisiológicas y de rendimiento con el adecuado manejo de la intensidad y del volumen de entrenamiento. Ambos atletas presentaron mejoras claras en los tests fisiológicos a pesar de la reducción del entrenamiento HIT. Los dos parecieron responder positivamente a un aumento en el volumen de entrenamiento total y específicamente, a más volumen de baja intensidad.

COMPARACIONES VÁLIDAS DE INTERVENCIONES DE ENTRENAMIENTO

Equiparar programas de entrenamiento sobre la base del trabajo total o del consumo de oxígeno parece sensato en un laboratorio. Tal como observamos previamente, éste ha sido el método preferido de equiparación al momento de comparar los efectos del entrenamiento continuo e intervalado en estudios controlados. Lamentablemente, no es realista desde el punto de vista de atletas que buscan el rendimiento máximo. Ellos no comparan las sesiones de entrenamiento ni ajustan los tiempos de entrenamiento con la intensidad de esta manera. Un aspecto clave aquí es el impacto no lineal de la intensidad del ejercicio en la duración acumulada manejable del ejercicio intermitente. En la Tabla 12 hemos ejemplificado esto a través de la comparación de algunas sesiones de entrenamiento típicas del entrenamiento de atletas de élite.

Tabla 12. Combinaciones de intensidad y duración típicas utilizadas en las sesiones de entrenamiento de los atletas de resistencia de elite. a No se incluyó la entrada en calor. b Cálculos de consumo de oxígeno basados en un atleta masculino con un VO_{2max} de 5 L min⁻¹ y se incluye una entrada en calor de 15 min a 50% de VO_{2max} para las sesiones de entrenamiento umbral e intervalado. Los ejemplos son en función de una duración acumulada manejable en diferentes intensidades de entrenamiento intervalado y fueron obtenidos a partir de los diarios de entrenamiento de atletas de élite. c Índice de esfuerzo percibido (RPE) de la sesión x duración (Foster et al., 1996; Seiler et al., 2007).

	Duración ^a (min)	Intensidad (%VO _{2max})	Total VO ₂ ^b (L)	Carga de entrenamiento ^c (RPE.min)
Resistencia de base	120	60	360	240-360
Entrenamiento umbral (lactato ~3-4 mM)	60 (4x15)	85	293	375
Intervalos 90 % (lactato ~5-7 mM)	40 (5x8)	90	218	375-425
Intervalos VO _{2max} (lactato ~6-10 mM)	24 (6x4)	95	152	300-350

El punto que queremos destacar es que la percepción del atleta del estrés de entrenar 4x15 min a 85% VO_{2max} es casi la misma que la de entrenar 6x4 min a 95% VO_{2max}, aunque el trabajo total realizado es muy diferente. Para responder una pregunta como, "para un atleta ¿el entrenamiento intervalado cerca del VO_{2max} es más eficaz para lograr ganancias de rendimiento que el entrenamiento en el máximo estado estable de lactato?", la equiparación de las series de entrenamiento debe ser realista desde la perspectiva del estrés percibido y de cómo entrenan los atletas. Los estudios futuros que se realicen para determinar los efectos de la intensidad del entrenamiento sobre la adaptación y el rendimiento deben tener en cuenta este problema de validez ecológica.

CONCLUSIONES

La optimización de los métodos de entrenamiento es un área de gran interés para científicos, atletas y amantes del *fitness*. Un desafío para los científicos deportivos es trasladar los resultados de intervenciones de entrenamiento a corto plazo al desarrollo de rendimiento a largo plazo y a la organización del entrenamiento de aptitud física. Actualmente existe un gran interés por los programas de entrenamiento intervalado de corta duración y alta intensidad. Sin embargo, la cuidadosa interpretación de las investigaciones disponibles y de los métodos de entrenamiento de atletas de resistencia exitosos sugiere que debemos ser cuidadosos para no prescribir excesivamente el entrenamiento intervalado de alta intensidad o exhortar las ventajas de la intensidad por encima de la duración.

A continuación mencionamos algunas conclusiones que estarían apoyadas por los datos y experiencias disponibles a partir de las observaciones obtenidas en deportistas de élite:

- Hay evidencia razonable que una proporción ~80:20 de entrenamiento baja a alta intensidad (HIT) permite a los atletas de resistencia que entrenan diariamente obtener excelentes resultados a largo plazo.
- El entrenamiento de baja intensidad (típicamente por debajo de una concentración sanguínea de lactato de 2mM) y de duración más larga es efectivo para estimular adaptaciones fisiológicas y no debe ser tomado como tiempo de entrenamiento desperdiciado.
- En un amplio espectro, los aumentos en el volumen total de entrenamiento se correlacionan con las mejoras en las variables fisiológicas y de rendimiento.
- El HIT debe ser parte del programa de entrenamiento de todos los deportistas y atletas de resistencia. Sin embargo, utilizar esta modalidad aproximadamente dos sesiones de entrenamiento por semana sería suficiente para lograr mejoras en el rendimiento sin inducir un estrés excesivo.
- Los efectos de HIT en la fisiología y el rendimiento son bastante rápidos, pero también se han observado rápidos efectos de estancamiento (*plateau*). Para evitar el estancamiento prematuro y asegurar el desarrollo a largo plazo, también debe aumentar sistemáticamente el volumen de entrenamiento.
- Cuando los atletas que *ya están altamente entrenados* aumentan marcadamente la intensidad del entrenamiento con más HIT de 12 a ~45 semanas, el impacto es contradictorio.
- En atletas con una base de resistencia establecida y con tolerancia frente a cargas de entrenamiento relativamente altas, la intensificación del entrenamiento puede producir pequeñas ganancias de rendimiento con un riesgo aceptable.
- Una base de resistencia establecida construida por volúmenes razonablemente altos de entrenamiento puede ser una condición previa importante para tolerar y responder mejor a un aumento sustancial en la intensidad de entrenamiento a corto plazo.

- Los atletas de elite logran la periodización del entrenamiento con reducciones en el volumen total y aumentos modestos en el volumen de entrenamiento por encima del umbral del lactato. Una *polarización* global de la intensidad del entrenamiento caracteriza la transición desde los mesociclos de preparación a los mesociclos de competición. La distribución de intensidad básica se mantiene sin cambios a lo largo del año.

REFERENCIAS

1. Aasen S. (2008). Utholdenhet- trening som gir resultater. *Akilles Forlag: Oslo, Norway*
2. Acevedo E., O., Goldfarb A., H. (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21, 563-568
3. Achten J., Jeukendrup A.E. (2003). Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine* 24, 603-608
4. Ahmetov, II, Rogozkin V., A. (2009). Genes, Athlete Status and Training - An Overview. *Medicine and Sport Science* 54, 43-71
5. Åstrand I., Åstrand P., O., Christensen E., H., Hedman R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiologica Scandinavica*. 48, 448-453
6. Åstrand I. Å.P., Christensen E., H., Hedman R (1960). Myohemoglobin as an oxygen store in man. *Acta Physiologica Scandinavica* 48, 454-460
7. Åstrand P. O., Rodahl, K.R. (1986). Physical Training. In: *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill: Singapore. 412-476
8. Beneke R., von Duvillard S.P. (1996). Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 28, 241-246
9. Beneke R., Leithauser R.M., Hutler M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine*. 35, 192-196
10. Berger N.J., Tolfrey K., Williams A.G., Jones A.M. (2006). Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 38, 504-512
11. Bhambhani Y., Singh M. (1985). The effects of three training intensities on VO₂ max and VE/VO₂ ratio. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*. 10, 44-51
12. Billat V., Lepretre P.M., Heugas A.M., Laurence M.H., Salim D., Koralsztein J.P. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 35, 297-304; discussion 305-296
13. Billat V.L., Flechet B., Petit B., Muriaux G., Koralsztein J.P. (1999). Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31, 156-163
14. Billat V.L., Demarle A., Slawinski J., Paiva M., Koralsztein J.P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33, 2089-2097
15. Brigelius-Flohe R. (2009). Commentary: oxidative stress reconsidered. *Genes and Nutrition*. 4, 161-163
16. Catalucci D., Latronico M.V., Ellingsen O., Condorelli G. (2008). Physiological myocardial hypertrophy: how and why? *Frontiers in Bioscience*. 13, 312-324
17. Chakravarthy M.V., Booth F.W. (2004). Eating, exercise, and "thrifty" genotypes: connecting the dots toward an evolutionary understanding of modern chronic diseases. *Journal of Applied Physiology*. 96, 3-10
18. Christensen E.H. (1960). [Interval work and interval training. J. *Internationale Zeitschrift fur Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie*. 18, 345-356
19. Christensen E.H., Hedman R., Saltin B. (1960). Intermittant and continuous running. *Acta Physiologica Scandinavica*. 50, 269-286
20. Cunningham D.A., McCrimmon D., Vlach L.F. (1979). Cardiovascular response to interval and continuous training in women. *European Journal of Applied Physiology*. 41, 187-197
21. Daniels J., Scardina N. (1984). Interval training and performance. *Sports Medicine*. 1, 327-334
22. Daussin F.N., Ponsot E., Dufour S.P., Lonsdorfer-Wolf E., Doutreleau S., Geny B., Piquard F., Richard R. (2007). Improvement of VO₂max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*. 101, 377-383
23. Daussin F.N., Zoll J., Dufour S.P., Ponsot E., Lonsdorfer-Wolf E., Doutreleau S., Mettauer B., Piquard F., Geny B., Richard R. (2008a). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology*. 295, R264-272
24. Daussin F.N., Zoll J., Ponsot E., Dufour S.P., Doutreleau S., Lonsdorfer E., Ventura-Clapier R., Mettauer B., Piquard F., Geny B., Richard R. (2008b). Training at high exercise intensity promotes qualitative adaptations of mitochondrial function in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 104, 1436-1441
25. Diaz F., Moraes C.T. (2008). Mitochondrial biogenesis and turnover. *Cell Calcium*. 44, 24-35
26. Eddy D.O., Sparks K.L., Adelizi D.A. (1977). The effects of continuous and interval training in women and men. *European Journal of Applied Physiology*. 37, 83-92
27. Edge J., Bishop D., Goodman C. (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *European Journal of Applied Physiology*. 96, 97-105
28. Esteve-Lanao J., San Juan A.F., Earnest C.P., Foster C., Lucia A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 37, 496-504
29. Esteve-Lanao J., Foster C., Seiler S., Lucia A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance

- athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 21, 943-949
30. Evertsen F., Medbo J.I., Jebens E., Nicolaysen K. (1997). Hard training for 5 mo increases Na(+)-K+ pump concentration in skeletal muscle of cross-country skiers. *American Journal of Physiology*. 272, R1417-1424
 31. Evertsen F., Medbo J.I., Jebens E., Gjovaag T.F. (1999). Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiologica Scandinavica*. 167, 247-257
 32. Evertsen F., Medbo J.I., Bonen A. (2001). Effect of training intensity on muscle lactate transporters and lactate threshold of cross-country skiers. *Acta Physiologica Scandinavica*. 173, 195-205
 33. Fields R.D. (2006). Nerve impulses regulate myelination through purinergic signalling. *Novartis Foundation Symposium* 276, 148-158; discussion 158-161, 233-147, 275-181
 34. Fiskerstrand A, Seiler KS (2004). Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 14, 303-310
 35. Foster C., Daines E., Hector L., Snyder A.C., Welsh R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin Medical Journal*. 95, 370-374
 36. Foster C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30, 1164-1168
 37. Foster C., Florhaug J.A., Franklin J., Gottschall L., Hrovatin L.A., Parker S., Doleshal P., Dodge C. (2001a). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 15, 109-115
 38. Foster C, Heiman KM, Esten PL, Brice G, Porcari J (2001b). Differences in perceptions of training by coaches and athletes. *South African Journal of Sports Medicine* 8, 3-7
 39. Foster C., Hoyos J., Earnest C., Lucia A. (2005). Regulation of energy expenditure during prolonged athletic competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 37, 670-675
 40. Frank D., Kuhn C., Brors B., Hanselmann C., Ludde M., Katus H.A., Frey N. (2008). Gene expression pattern in biomechanically stretched cardiomyocytes: evidence for a stretch-specific gene program. *Hypertension*. 51, 309-318
 41. Fry A.C., Schilling B.K., Weiss L.W., Chiu L.Z. (2006). beta2-Adrenergic receptor downregulation and performance decrements during high-intensity resistance exercise overtraining. *Journal of Applied Physiology*. 101, 1664-1672
 42. Gaskill S.E., Serfass R.C., Bacharach D.W., Kelly J.M. (1999). Responses to training in cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31, 1211-1217
 43. Gladden L.B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *Journal of Physiology*. 558, 5-30
 44. Gledhill N., Cox D., Jamnik R. (1994). Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 26, 1116-1121
 45. Gomez-Cabrera M.C., Domenech E., Romagnoli M., Arduini A., Borrás C., Pallardo F.V., Sastre J., Vina J. (2008). Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *American Journal of Clinical Nutrition*. 87, 142-149
 46. Gorostiaga E.M., Walter C.B., Foster C., Hickson R.C. (1991). Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*. 63, 101-107
 47. Gregory L.W. (1979). The development of aerobic capacity: a comparison of continuous and interval training. *Research Quarterly*. 50, 199-206
 48. Gullich A., Emrich E., Seiler S. (2009). Training methods and intensity distribution of young world-class rowers. *International Journal of Sport Physiology and Performance*. 4, In Press
 49. Halson S.L., Jeukendrup A.E. (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine*. 34, 967-981
 50. Hansen A.K., Fischer C.P., Plomgaard P., Andersen J.L., Saltin B., Pedersen B.K. (2005). Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily. *Journal of Applied Physiology*. 98, 93-99
 51. Helgerud J., Hoydal K, Wang E., Karlsen T., Berg P., Bjerkaas M., Simonsen T., Helgesen C., Hjorth N., Bach R., Hoff J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO2max more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 39, 665-671
 52. Henriksson J., Reitman J.S. (1976). Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training. *Acta Physiologica Scandinavica*. 97, 392-397
 53. Hill A.V., Long C.N.H, Lupton H. (1924a). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Parts I-III. . Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 96, 438-475
 54. Hill AV, Long C.N.H., Lupton H. (1924b). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Parts IV-VI. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 97, 84-138 Holloszy JO (2008). Regulation by exercise of skeletal muscle content of mitochondria and GLUT4. *Journal of Physiology and Pharmacology*. 59 Suppl 7, 5-18
 55. Hoppeler H, Klossner S, Fluck M (2007). Gene expression in working skeletal muscle. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 618, 245-254
 56. Ingham S.A., Carter H., Whyte G.P., Doust J.H. (2008). Physiological and performance effects of low-versus mixed-intensity rowing training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 40, 579-584
 57. Ishibashi T., Dakin K.A., Stevens B., Lee P.R., Kozlov S.V., Stewart C.L., Fields R.D. (2006). Astrocytes promote myelination in response to electrical impulses. *Neuron*. 49, 823-832
 58. Joseph A.M., Pilegaard H., Litvintsev A., Leick L., Hood D.A. (2006). Control of gene expression and mitochondrial biogenesis in the muscular adaptation to endurance exercise. *Essays in Biochemistry*. 42, 13-29
 59. Kamo M. (2002). Discharge behavior of motor units in knee extensors during the initial stage of constant-force isometric contraction at low force level. *European Journal of Applied Physiology*. 86, 375-381
 60. Laughlin M.H., Roseguini B. (2008). Mechanisms for exercise training-induced increases in skeletal muscle blood flow capacity: differences with interval sprint training versus aerobic endurance training. *Journal of Physiology and Pharmacology*. 59 Suppl 7, 71-88

61. Lehmann M.J., Lormes W., Opitz-Gress A., Steinacker J.M., Netzer N., Foster C., Gastmann U. (1997). Training and overtraining: an overview and experimental results in endurance sports. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 37, 7-17
62. Lindsay F.H., Hawley J.A., Myburgh K.H., Schomer H.H., Noakes T.D., Dennis S.C. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 28, 1427-1434
63. Lucia A., Hoyos J., Carvajal A., Chicharro J.L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *International Journal of Sports Medicine*. 20, 167-172
64. Lucia A., Hoyos J., Santalla A., Earnest C., Chicharro J.L. (2003). Tour de France versus Vuelta a Espana: which is harder? *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 35, 872-878
65. MacDougall D., Sale D. (1981). Continuous vs. interval training: a review for the athlete and the coach. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*. 6, 93-97
66. Marcuello A., Gonzalez-Alonso J., Calbet J.A., Damsgaard R., Lopez-Perez M.J., Diez-Sanchez C. (2005). Skeletal muscle mitochondrial DNA content in exercising humans. *Journal of Applied Physiology*. 99, 1372-1377
67. McConell G.K., Lee-Young R.S., Chen Z.P., Stepto N.K., Huynh N.N., Stephens T.J., Canny B.J., Kemp B.E. (2005). Short-term exercise training in humans reduces AMPK signalling during prolonged exercise independent of muscle glycogen. *Journal of Physiology*. 568, 665-676
68. McPhee J.S., Williams A.G., Stewart C., Baar K., Schindler J.P., Aldred S., Maffulli N., Sargeant A.J., Jones D.A. (2009). The training stimulus experienced by the leg muscles during cycling in humans. *Experimental Physiology*. 94, 684-694
69. Mujika I., Chatard J.C., Busso T., Geysant A., Barale F., Lacoste L. (1995). Effects of training on performance in competitive swimming. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 20, 395-406
70. Nordsborg N., Bangsbo J., Pilegaard H. (2003). Effect of high-intensity training on exercise-induced gene expression specific to ion homeostasis and metabolism. *Journal of Applied Physiology*. 95, 1201-1206
71. Ojuka E.O. (2004). Role of calcium and AMP kinase in the regulation of mitochondrial biogenesis and GLUT4 levels in muscle. *Proceedings of the Nutrition Society*. 63, 275-278
72. Overend T.J., Paterson D.H., Cunningham D.A. (1992). The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. *Canadian Journal of Sport Sciences*. 17, 129-134
73. Pelliccia A., Culasso F., Di Paolo F.M., Maron B.J. (1999). Physiologic left ventricular cavity dilatation in elite athletes. *Annals of Internal Medicine*. 130, 23-31
74. Poole D.C., Gaesser G.A. (1985). Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *Journal of Applied Physiology*. 58, 1115-1121
75. Ristow M., Zarse K., Oberbach A., Kloting N., Birringer M., Kiehnkopf M., Stumvoll M., Kahn C.R., Bluher M. (2009). Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106, 8665-8670
76. Robinson D.M., Robinson S.M., Hume P.A., Hopkins W.G. (1991). Training intensity of elite male distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23, 1078-1082
77. Saltin B., Nazar K., Costill D.L., Stein E., Jansson E., Essen B., Gollnick D. (1976). The nature of the training response; peripheral and central adaptations of one-legged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*. 96, 289-305
78. Schumacher Y.O., Mueller P. (2002). The 4000-m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34, 1029-1036
79. Seiler K.S., Kjerland G.O. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 16, 49-56
80. Seiler S., Sjuursen J.E. (2004). Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 14, 318-325
81. Seiler S., Hetlelid K.J. (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 37, 1601-1607
82. Seiler S., Haugen O., Kuffel E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 39, 1366-1373
83. Sheikh F., Raskin A., Chu P.H., Lange S., Domenighetti A.A., Zheng M., Liang X., Zhang T., Yajima T., Gu Y, Dalton N.D., Mahata S.K., Dorn G.W., 2nd, Heller-Brown J, Peterson KL, Omens JH, McCulloch AD, Chen J (2008). An FHL1-containing complex within the cardiomyocyte sarcomere mediates hypertrophic biomechanical stress responses in mice. *Journal of Clinical Investigation*. 118, 3870-3880
84. Steinacker J.M., Lormes W., Lehmann M., Altenburg D. (1998). Training of rowers before world championships. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30, 1158-1163
85. Stepto N.K., Hawley J.A., Dennis S.C., Hopkins W.G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31, 736-741
86. Talanian J.L., Galloway S.D., Heigenhauser G.J., Bonen A., Spriet L.L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology*. 102, 1439-1447
87. Thompson P. (2005). Break through the speed barrier with the "new interval training". *Athletics Weekly*. 59, 62-63
88. Wenger H.A., Macnab R.B. (1975). Endurance training: the effects of intensity, total work, duration and initial fitness. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 15, 199-211
89. Weston A.R., Myburgh K.H., Lindsay F.H., Dennis S.C., Noakes T.D., Hawley J.A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 75, 7-13
90. Wisloff U., Stoylen A., Loennechen J.P., Bruvold M., Rognum O., Haram P.M., Tjonna A.E., Helgerud J., Slordahl S.A., Lee S.J., Videm V., Bye A., Smith G.L., Najjar S.M., Ellingsen O., Skjaerpe T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*. 115, 3086-3094

91. Yan Z. (2009). Exercise, PGC-1alpha, and metabolic adaptation in skeletal muscle. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 34, 424-427
91. Yan Z. (2009). Exercise, PGC-1alpha, and metabolic adaptation in skeletal muscle. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 34, 424-427
92. Yeo W.K., Paton C.D., Garnham A.P., Burke L.M., Carey A.L., Hawley J.A. (2008). Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *Journal of Applied Physiology*. 105, 1462-1470.
93. Zapico A.G., Calderon F.J., Benito P.J., Gonzalez C.B., Parisi A., Pigozzi F., Di Salvo V. (2007). Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 47, 191-196
94. Zhou B., Conlee R.K., Jensen R., Fellingham G.W, George JD, Fisher AG (2001). Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33, 1849-1854

Cita Original

Stephen Seiler and Espen Tønnessen. Intervals, Thresholds, and Long Slow Distance: the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. *Sportscience* (2009). 13, 32-53.