

Article

La Periodización por Bloques con Intervalos Aeróbicos de Alta Intensidad produce Efectos de Entrenamiento Superiores en Ciclistas Entrenados

Bent R. Rønnestad¹¹Lillehammer University College, PB. 952, 2604 Lillehammer, Noruega

RESUMEN

El propósito de este estudio fue comparar el efecto de dos métodos diferentes de organización del entrenamiento de resistencia en ciclistas entrenados. Un grupo de ciclistas realizó periodización por bloques, en donde la primera semana se realizaron cinco sesiones de entrenamiento aeróbico de alta intensidad (HIT), seguidas por 3 semanas de una sesión de HIT semanal y centrado en entrenamiento de baja intensidad (LIT) (BP; $n = 10$, $VO_{2max} = 62 \pm 2$ mL/kg/min). Otro grupo de ciclistas realizó una organización más tradicional, con 4 semanas con dos sesiones de HIT semanales intercaladas con entrenamiento de baja intensidad (LIT) (TRAD; $n = 9$, $VO_{2max} = 63 \pm 2$ mL/kg/min). Los dos grupos realizaron volúmenes similares de HIT y LIT. Mientras que el grupo BP aumentó VO_{2max} , producción de potencia máxima (W_{max}) y producción de potencia a 2 mmol/L [la] en $4,6 \pm 3,7\%$, $2,1 \pm 2,8\%$, y $10 \pm 12\%$, respectivamente ($P < 0,05$), no se observó ningún cambio en el grupo TRAD. El grupo BP presentó mejoras relativas en VO_{2max} en comparación con el grupo TRAD ($P < 0,05$). El tamaño medio del efecto (ES) de la mejora relativa en VO_{2max} , W_{max} y producción de potencia a 2 mmol/L [la] reveló efectos grandes a moderados del entrenamiento BP en comparación con el entrenamiento TRAD (ES = 1,34, ES = 0,85 y ES = 0,71, respectivamente). El estudio presente sugiere que la periodización por bloques del entrenamiento proporciona adaptaciones superiores a la organización tradicional durante un período de entrenamiento de resistencia de 4 semanas, independientemente de que se utilizó el mismo volumen y la misma intensidad de entrenamiento.

Palabras Clave: organización del entrenamiento, rendimiento de resistencia, umbral del lactato, consumo de oxígeno máximo, producción de potencia máxima

INTRODUCCION

Los principales determinantes fisiológicos para el rendimiento de resistencia son la economía de trabajo, el umbral de lactato y el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) (Pate & Kriska, 1984). Por lo tanto es muy interesante evaluar cómo estos parámetros son afectados por diferentes protocolos y regímenes de entrenamientos de resistencia. Para obtener mejoras en la economía de trabajo de atletas entrenados en resistencia, sería necesario realizar un gran volumen de entrenamiento

de baja intensidad durante un período extenso de tiempo (Scrimgeour et al., 1986; Lucía et al., 2002). En cuanto a las mejoras en el umbral del lactato medido como trabajo a una cierta concentración de lactato sanguíneo ($[La^-]$) y el VO_{2max} , se ha demostrado que tanto el entrenamiento de resistencia de baja intensidad como el entrenamiento aeróbico de alta intensidad (HIT) tienen un efecto positivo (Helgerud et al., 2001, 2007; Esteve-Lanao et al., 2005; Ingham et al., 2008). La magnitud de la mejora en estos parámetros depende de la duración, intensidad, y frecuencia de las sesiones de entrenamiento (Shephard, 1968; Fox et al., 1973; Wenger & Bell, 1986; Helgerud et al., 2007), además del estado de entrenamiento del atleta. De hecho, una combinación de volumen de entrenamiento alto con intensidades de ejercicio bajas y volúmenes bajos de entrenamiento de HIT sería necesaria para obtener el desarrollo óptimo del rendimiento de resistencia (Esteve-Lanao et al., 2007; Laursen, 2010; Seiler, 2010).

A medida que aumenta el nivel de rendimiento del atleta de resistencia, sería necesario aumentar la intensidad del entrenamiento de resistencia aeróbico para obtener mejoras adicionales en el umbral del lactato y VO_{2max} (Shephard 1968; Fox et al 1973; Tanaka et al., 1986; Wenger & Bell, 1986.; Yoshida et al., 1990; Midgley et al., 2006). Numerosos estudios apuntan hacia la superioridad del HIT, ya sea solo o en combinación con entrenamiento de resistencia de baja intensidad, en comparación con el entrenamiento de resistencia de baja intensidad solo (por ejemplo, Billat, 2001; Helgerud et al., 2007; Midgley et al., 2007). En concordancia con esto, se ha sugerido que los atletas de resistencia deben realizar 75-80% del entrenamiento en intensidades bajas y 10-15% por encima del segundo umbral ventilatorio (Seiler & Kjerland, 2006; Seiler, 2010), es decir, HIT. A pesar de esta visión importante, no está claro como organizar de manera conjunta el entrenamiento de baja intensidad y HIT, para lograr resultados de entrenamiento y rendimiento óptimos. Recientemente, se ha centrado el interés en los beneficios potenciales de la periodización por bloques (Issurin, 2010), en la cual se utilizan períodos de entrenamiento más cortos (1-4 semanas) focalizados en mejorar algunas capacidades seleccionadas (Breil et al., 2010; Issurin, 2010; Storen et al., 2011). Esto también se ha descrito como "ciclo de entrenamiento con cargas de trabajo altamente concentradas" y microciclo de choque (revisado en Issurin, 2010). En este contexto, se ha planteado que la organización tradicional de períodos de entrenamiento, centralizada en el desarrollo de muchas capacidades simultáneamente, produce estímulos subóptimos y por lo tanto adaptaciones subóptimas en los atletas altamente entrenados (Issurin, 2010). De manera contraria, la periodización por bloques se enfoca en desarrollar algunas capacidades selectivas en cada bloque y asegurar así estímulos y adaptaciones adecuados, mientras que al mismo tiempo mantiene otras capacidades importantes para el rendimiento (Issurin, 2010).

Usando un diseño cruzado, García-Pallares et al. (2010) concluyeron que la periodización por bloques era más eficaz que la periodización tradicional para mejorar el rendimiento de kayakistas de nivel mundial. Se observó superioridad de la periodización por bloques a pesar de que el período de entrenamiento fue 10 semanas y 120 horas de entrenamiento más corto que el período de periodización tradicional (García-Pallares et al., 2010). De acuerdo con esto, parece creíble asumir que la periodización por bloques también será superior al entrenamiento tradicional cuando los dos grupos realizan cantidades similares de entrenamiento de resistencia. Es importante destacar, que dado que el período de periodización por bloques fue 10 semanas más corto que el período tradicional (12 semanas versus 22 semanas, respectivamente), el primero significó una mayor cantidad relativa de HIT en comparación con el entrenamiento de baja intensidad (García-Pallares et al., 2010). Esto hace difícil determinar si el efecto positivo se debió a la naturaleza de la periodización por bloques o si se debió a la mayor concentración de HIT. Un segundo estudio que investigó los efectos de la periodización por bloques se realizó en alpinistas con valores de VO_{2max} moderados, y en el mismo se evaluó el efecto de un bloque de HIT de 11 días de duración (Breil et al., 2010). Siete días después del bloque HIT, los alpinistas habían mejorado el VO_{2max} , la producción de potencia máxima y la producción de potencia en el umbral ventilatorio 2, mientras que el grupo control no presentó ninguna mejora (Breil et al., 2010). Lamentablemente, el grupo control continuó su entrenamiento normal, lo que significó que el grupo que utilizó periodización por bloques realizó una cantidad mayor de HIT. Por lo tanto, aunque los resultados actuales indican que la periodización por bloques proporciona mejores adaptaciones al entrenamiento, es difícil determinar si las diferencias observadas se debían a la periodización por bloques per se, o si se debían al mayor volumen de HIT en el grupo por bloques. En apoyo de esto, recientemente se informó un efecto positivo de periodización por bloques de HIT en un estudio de un solo caso de un ciclista donde los bloques HIT produjeron mejores valores de VO_{2max} , producción de potencia en el umbral de lactato y rendimiento en una prueba contrarreloj (Støren et al., 2011), aunque con una falta clara de generalización.

Debido a la escasez de estudios que evalúen el efecto de periodización por bloques en atletas entrenados, el presente estudio investigó los efectos de un bloque de cinco sesiones de HIT durante 1 semana, seguido por un período de 3 semanas con una sesión de HIT por semana y un volumen naturalmente alto de entrenamiento de baja intensidad en ciclistas entrenados. Este grupo se comparará con un grupo de ciclistas que emplean la organización más tradicional de dos sesiones de HIT por semana mientras realizan simultáneamente un volumen relativamente alto de entrenamiento de baja intensidad. En conjunto, los dos grupos realizaron volúmenes iguales tanto de HIT como de entrenamiento de baja intensidad durante las 4 semanas de entrenamiento. Nosotros supusimos que la periodización por bloques induciría una adaptación superior en el VO_{2max} , la producción de potencia en una $[La^-]$ de 2 mmol/L y la producción de potencia máxima (W_{max}).

MÉTODOS

Sujetos

Veintiún ciclistas de sexo masculino entrenados, participaron voluntariamente en el estudio que se realizó siguiendo las normas éticas establecidas por la Declaración de Helsinki de 1975 y fue aceptado por el comité de ética local del Departamento de Ciencia de los Deportes, del Colegio Universitario de Lillehammer. Todos los ciclistas firmaron un formulario de consentimiento informado antes de participar en el estudio. Dos de los ciclistas no completaron el estudio debido a enfermedad durante el período de intervención, y sus datos fueron excluidos del mismo. Sobre la base de la producción de potencia máxima, relaciones potencia-peso, cantidad promedio de horas de entrenamiento por semana, y años de ciclismo competitivo, los sujetos podrían considerarse como ciclistas altamente entrenados (Jeukendrup et al., 2000).

Diseño Experimental

Los tests se realizaron antes (pre) y después (post) del período de intervención de 4 semanas. Los ciclistas entrenados fueron asignados y distribuidos en dos grupos, un grupo de periodización por bloques (BP) y un grupo de periodización tradicional (TRAD), sobre la base de sus VO_{2max} . El grupo BP realizó un bloque de una semana con cinco sesiones de HIT, seguido por un período de tres semanas de una sesión de HIT por semana y un volumen naturalmente alto de entrenamiento de baja intensidad (BP; n = 10, edad 30 ± 7 años, talla 181 ± 4 centímetros, masa corporal $_{pre} 76 \pm 6$ kg, masa corporal post 76 ± 6 kg; Figura 1). Los sujetos del grupo BP tenían 6 ± 4 años de experiencia competitiva. En el grupo BP la cantidad de entrenamiento informada por los participantes durante los 2 meses previos a la intervención fue de 9 ± 3 h por semana de entrenamiento de resistencia de baja intensidad, sin HIT. El grupo TRAD realizó dos sesiones de HIT por semana a lo largo del período de intervención, intercalado con un volumen relativamente alto de entrenamiento de baja intensidad (TRAD, n = 9, edad 32 ± 6 años, talla 181 ± 6 centímetros, masa corporal $_{pre} 76 \pm 7$ kg, masa corporal post 76 ± 7 kg; Figura 1). El grupo TRAD tenía 6 ± 4 años de experiencia en competencias. En el grupo TRAD la cantidad de entrenamiento informada por los participantes durante los 2 meses previos a la intervención fue de 10 ± 3 h por semana de entrenamiento de resistencia de baja intensidad, sin HIT. Para investigar el efecto de la periodización por bloques per se, en ambos grupos se realizó el mismo volumen tanto de HIT como de entrenamiento de baja intensidad durante este período de intervención de 4 semanas. La intervención se completó durante la fase de preparación de los ciclistas.

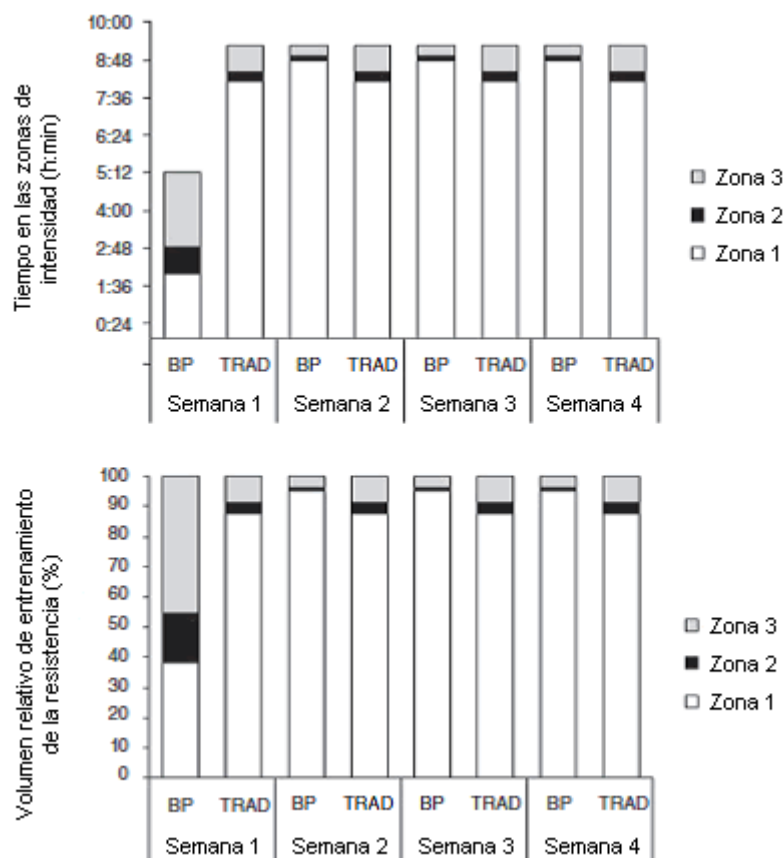


Figura 1. Distribución semanal del entrenamiento en las diferentes zonas de intensidad durante el período de intervención para el grupo de periodización por bloques (BP) y grupo tradicional (TRAD; panel superior). Distribución relativa del entrenamiento en las diferentes zonas de intensidad durante el período de intervención en los dos grupos de intervención (panel inferior).

Entrenamiento

Todas las sesiones de HIT se realizaron en las bicicletas propias de los ciclistas y los entrenamientos de baja intensidad consistieron principalmente en ciclismo, aunque también se realizó algo de esquí a campo traviesa (hasta un 10% del volumen total de entrenamiento de baja intensidad). El volumen y la intensidad fueron calculados sobre la base de registros de monitores de frecuencia cardíaca (HR) (*Polar, Kempele, Finlandia*). El entrenamiento de resistencia fue dividido en tres zonas de HR: (1) 60-82%; (2) 83-87% y (3) 88-100% de HR máxima. En la Figura 1 se presenta una apreciación global de la distribución del entrenamiento de resistencia dividido en las tres zonas de intensidad para ambos grupos. El tiempo total destinado al entrenamiento de resistencia y la distribución de este entrenamiento dentro de las zonas de entrenamiento fue similar en los grupos.

Las sesiones de HIT alternaron entre 6x5 y 5x6 min con una intensidad de ejercicio dentro de la intensidad de la zona 3. Los intervalos estaban separados por 2,5 o 3 min de recuperación, respectivamente. Todos los ciclistas fueron instruidos para realizar cada sesión de HIT con el objetivo de producir la mayor producción de potencia media durante los intervalos. Esto transforma a la producción de potencia media real de cada sesión de HIT en un indicador del nivel de rendimiento. Para supervisar la producción de potencia durante las sesiones HIT, siete ciclistas en el grupo BP y seis ciclistas en el grupo TRAD llevaban colocado en la rueda trasera un *PowerTap SL 2.4 (CycleOps, Madison, WI, EE.UU.)*. El dispositivo *PowerTap* es un medidor de potencia válido y confiable (Bertucci et al., 2005). Además para cuantificar cómo las semanas de entrenamiento afectaban el bienestar percibido en las piernas, los ciclistas informaron sus sentimientos percibidos en una escala de 9 puntos, que tomaba valores de muy muy bien hasta muy muy pesado cada semana de entrenamiento (Figura 2).

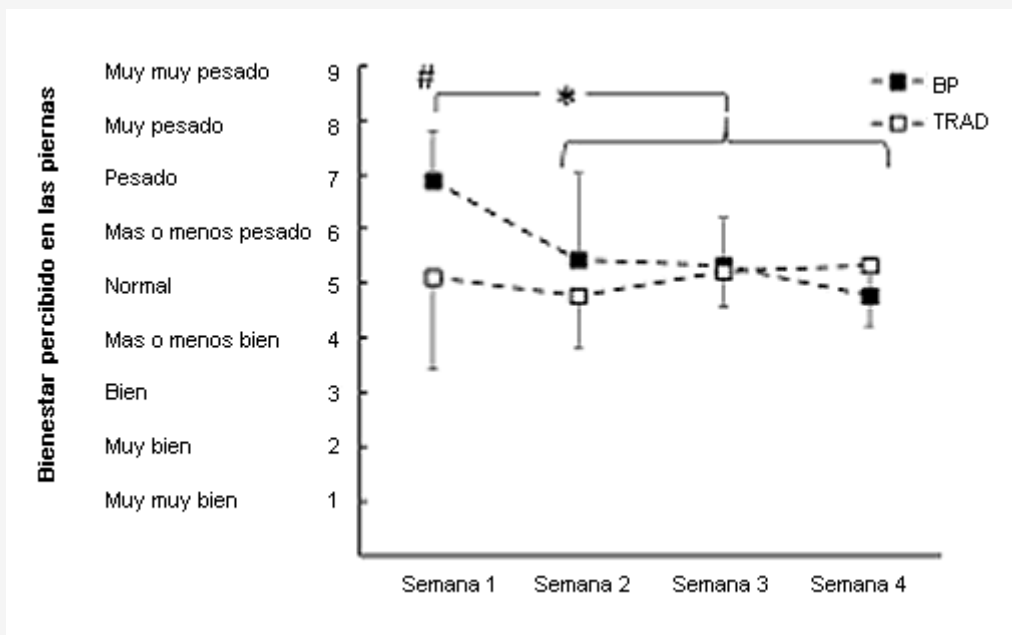


Figura 2. Bienestar percibido en las piernas durante el período de intervención en el grupo de periodización por bloques (BP) y el grupo tradicional (TRAD). * Diferencias entre la primera semana y las últimas 3 semanas en el grupo BP ($P < 0,05$). # Diferencia entre los grupos en la primera semana ($P < 0,05$).

Evaluaciones

Se solicitó a los ciclistas que no realizaran ejercicio intenso en los 2 días previos a las evaluaciones y que consumieran el mismo tipo de alimentos antes de cada test. Se les solicitó que realizaran la última sesión de HIT 3 días antes de la medición post test. No se les permitió comer durante la hora previa a la prueba ni consumir café u otros productos que contenían cafeína durante las 3 horas previas. Los ciclistas fueron refrescados con un ventilador durante el ejercicio de pedaleo. Todos los tests se realizaron bajo condiciones medioambientales similares (20-22 °C). Los tests Pre y Post fueron realizados en el mismo momento del día para evitar la influencia de ritmo circadiano. Todos los tests fueron realizados en la misma bicicleta ergométrica con freno electromagnético (Lode Excalibur Sport, Lode B. V., Groningen, Países Bajos) y la altura del asiento, la distancia horizontal entre la punta del sillín y el eje de pedaliar, y la posición del manillar fueron ajustadas según la preferencia de cada ciclista. Las posiciones del asiento fueron las mismas en los tests Pre y Post. Se permitió a los ciclistas escoger su cadencia preferida durante todo el ejercicio de pedaleo y usaron sus propias zapatillas y pedales.

Evaluación del Perfil de Lactato Sanguíneo

El perfil del lactato sanguíneo se determinó en cada ciclista graficando la $[La^-]$ en función de los valores de producción de potencia obtenidos durante el ejercicio de ciclismo submáximo incremental continuo. La prueba empezó sin entrada en calor, con 5-min de pedaleo a 125 W. El ejercicio de pedaleo continuó y se incrementó 50 W cada 5 min la producción de potencia. Las muestras de sangre se tomaron de la yema de los dedos al final de cada serie de 5 min y se analizaron para determinar la $[La^-]$ en sangre completa usando un analizador de lactato portátil (*Lactate Pro LT-1710, Arcray Inc, Kyoto, Japón*). El test finalizaba cuando se medía una $[La^-]$ de 4 mmol/L o superior. El VO_2 , la tasa de intercambio respiratorio (RER) y frecuencia cardíaca (HR) se midieron durante los últimos 3 min de cada serie y se usaron los valores medios para el análisis estadístico. La frecuencia cardíaca (HR) se midió con un monitor de frecuencia cardíaca *Polar S610i (Polar, Kempele, Finlandia)*. El VO_2 fue determinado (tiempo de muestreo de 30s) usando un sistema metabólico computarizado con cámara de mezclado (*Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Alemania*). Los analizadores de gases se calibraron antes de cada determinación, con gases de calibración certificados de concentraciones conocidas. La turbina de flujo (Triple V, Erich Jaeger, Hoechberg, Alemania) se calibró antes de cada prueba con una jeringa de calibración de 3L, serie 5530 (*Hans Rudolph, Kansas, MO, EE.UU.*). En este test de ciclismo incremental continuo, el umbral de lactato se calculó como la producción de potencia o VO_2 que correspondían a 2 mmol/L (Rønnestad et al., 2010b). La economía de ciclismo fue calculada como el consumo de oxígeno promedio entre los 3 y 4,5 min de las primeras tres series submáximas de 5 min de la prueba del perfil del lactato sanguíneo (125, 175 y 225 W). La eficiencia bruta se calculó usando el mismo método de Coyle et al. (1992). Brevemente, la tasa de gasto de energía se calculó usando el valor bruto de VO_2 y sus valores

correspondientes de RER, y la eficiencia bruta se expresó como la relación entre trabajo realizado por minuto y gasto calórico por minuto.

Test de VO_{2max}

Después de finalizar el test del perfil del lactato sanguíneo, los ciclistas realizaron 15 min de pedaleo de recuperación antes de realizar otro test de ciclismo incremental para determinar el VO_{2max} . Este test ha sido descrito previamente en diferentes lugares (Rønnestad et al., 2011). Brevemente, el test comenzó con 1 min de pedaleo a una producción de potencia correspondiente a 3 W/kg (redondeando hacia abajo hasta el valor más cercano a 50 W). Posteriormente la producción de potencia se incrementó 25 W cada minuto hasta el agotamiento. El VO_{2max} se calculó como el promedio entre las dos medidas de VO_2 más altas. La $HR \geq 95\%$ de la HR máxima conocida, $RER \geq 1,05$ y $[La^-] \geq 8,0$ mmol/L fueron utilizados como criterio para evaluar si se obtenía el VO_{2max} . W_{max} fue calculado como la producción de potencia media durante los últimos 2 min del test de VO_{2max} incremental. La potencia aeróbica máxima teórica (MAP) se calculó usando las mediciones submáximas del VO_2 del test del perfil de lactato sanguíneo además de los valores de VO_{2max} . MAP se definió como la producción de potencia donde la línea horizontal que representa el VO_{2max} alcanza la regresión lineal extrapolada que representa el VO_2 submáximo.

Análisis Estadísticos

Todos los valores informados en el texto, las figuras y tablas se presentan en forma de Media \pm Desviación estándar. El tamaño de efecto medio (ES) se calculó como d de Cohen para comparar la significancia práctica de las mejoras en el rendimiento entre los dos grupos. El criterio para interpretar la magnitud del ES fue: 0,0-0,2 trivial, 0,2-0,6 pequeño, 0,6-1,2 moderado, 1,2-2,0 grande y $>2,0$ muy grande (Hopkins, 2000). Para analizar las diferencias entre los grupos en los valores al inicio del estudio y en el volumen de entrenamiento, se utilizó el Test t de Student de muestras desapareadas (Excel 2010; Microsoft Corporation, Redmond, WA, EE.UU.). Las mediciones Pre y Post intervención de cada grupo se compararon usando el Test t de Student de muestras desapareadas para identificar las diferencias en los cambios relativos entre los grupos. En cada grupo, la producción de potencia media durante cada sesión de HIT y el bienestar percibido en las piernas durante cada semana, fueron comparados aplicando el análisis de la varianza de mediciones repetidas de una vía (ANOVA) con el test de diferencias significativas *post hoc* de Tukey (GraphPad Software Inc, San Diego, CA, EE.UU.). Para determinar las diferencias entre los grupos en los cambios en la producción de potencia media durante cada sesión de HIT y el bienestar percibido en las piernas durante cada semana, se utilizó ANOVA de mediciones repetidas de dos vías (tiempo y grupo como factores) con el test *post hoc* de Bonferroni. Todos los análisis donde $P \leq 0,05$ fueron considerados estadísticamente significativos.

RESULTADOS

Mediciones Realizadas al Inicio del Estudio

No se observaron diferencias significativas entre los grupos BP y TRAD antes del período de intervención, en los valores de masa corporal, VO_{2max} , W_{max} , MAP, eficiencia bruta, economía de ciclismo y producción de potencia en 2 mmol/L.

Bienestar Percibido en las Piernas y Producción de Potencia Media en las Sesiones de HIT

Durante la primera semana de intervención, el bienestar percibido en las piernas fue menor en los ciclistas del grupo BP que en los ciclistas del grupo TRAD ($P < 0,01$; Figura 2), pero no se observaron diferencias entre los grupos a lo largo de las últimas tres semanas de la intervención (Figura 2). En concordancia con esto, los ciclistas del grupo BP informaron un mayor bienestar en las piernas durante las últimas tres semanas de la intervención en comparación con la primera semana de la intervención ($P < 0,05$, Figura 2). En los ciclistas del grupo BP la producción de potencia media aumentó desde cada una de las cuatro primeras sesiones HIT de la semana 1 a la última sesión de HIT de la semana 4 ($7 \pm 5\%$, $6 \pm 6\%$, $7 \pm 5\%$, y $7 \pm 5\%$, respectivamente; $P < 0,05$, Figura 3), pero no se observaron cambios estadísticamente significativos en el grupo TRAD.

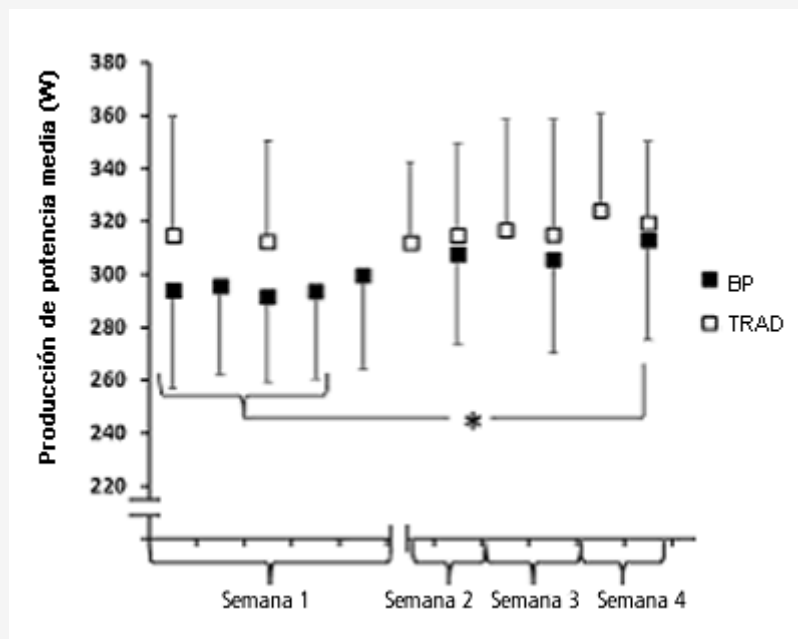


Figura 3. Producción de potencia media durante las sesiones de entrenamiento aeróbico intervalado de alta intensidad durante el período de intervención para el grupo de periodización por bloques (BP) y el grupo tradicional (TRAD). * Diferencia entre las cuatro primeras sesiones y la última sesión en el grupo BP ($P < 0,05$).

Masa corporal, W_{max} , VO_{2max} y MAP

La intervención no alteró la masa corporal en ninguno de los dos grupos. El grupo BP presentó un aumento en W_{max} y en el VO_{2max} ajustado por masa corporal de $2,1 \pm 2,8\%$ y $4,6 \pm 3,7\%$, respectivamente (ambos $P < 0,05$, Figura 4), pero no se observaron cambios estadísticamente significativos en el grupo TRAD (Figura 4). Los cambios relativos en VO_{2max} fueron mayores en el grupo BP que en el grupo TRAD ($P < 0,05$, Figura 4), pero no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en los cambios relativos en W_{max} . El MAP teórico aumentó de 386 ± 35 a 406 ± 50 W en BP ($P = 0,05$), mientras que no se observaron cambios en el grupo TRAD (los valores Pre y Post intervención fueron 382 ± 65 y 377 ± 58 W, respectivamente). El cambio relativo en MAP no fue significativamente diferente entre los grupos. EL ES medio de la mejora relativa en W_{max} , VO_{2max} y MAP reveló un efecto moderado a grande de realizar el entrenamiento BP versus el entrenamiento TRAD (ES = 0,85, ES = 1,34 y ES = 1,03, respectivamente).

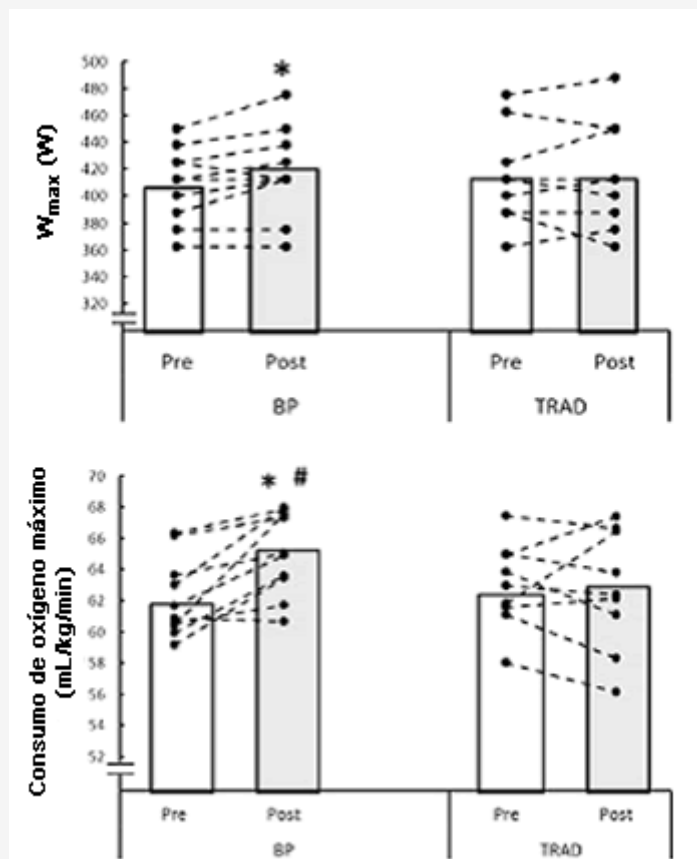


Figura 4. Consumo de oxígeno máximo (panel inferior) y producción de potencia máxima (W_{max} ; panel superior) antes (Pre) y después del período de intervención (Post) para el grupo de periodización por bloques (BP) y el grupo tradicional (TRAD). * Valor mayor que el valor Pre ($P < 0,05$), # Cambio relativo del valor Pre es mayor que en TRAD ($P < 0,05$).

Producción de Potencia en una Concentración de Lactato de 2 mmol/L

El grupo BP aumentó en un $10 \pm 12\%$ ($P < 0,05$), la producción de potencia en $[La^-]$ de 2 mmol/L pero no se observaron cambios en el grupo TRAD (Figura 5). Aunque no se observaron diferencias entre los grupos en el cambio relativo en la producción de potencia en $[La^-]$ de 2 mmol/L, el análisis de ES reveló un efecto práctico moderado del entrenamiento BP en comparación con el entrenamiento TRAD ($ES = 0,71$). No se observaron cambios en la utilización fraccionaria de VO_{2max} en una producción de potencia correspondiente a $[La^-]$ de 2 mmol/L en el grupo BP ni en el grupo TRAD (los valores Pre intervención fueron $64 \pm 9\%$ y $66 \pm 6\%$, respectivamente). No se encontraron diferencias entre los grupos ni en la eficiencia bruta ni en la economía de pedaleo y no se observó ningún cambio en estas mediciones en ninguno de los grupos durante el período de intervención. La eficiencia bruta en las producciones de potencia de 125, 175 y 225 W fue $18,5 \pm 1,0\%$, $20,3 \pm 1,0\%$, y $21,3 \pm 1\%$, respectivamente, mientras que la economía de pedaleo en estas producciones de potencia fue $0,209 \pm 0,019$, $0,189 \pm 0,017$ y $0,179 \pm 0,017$ mL/kg/W, respectivamente, expresada en forma de valores medios por grupos y momentos de intervención.

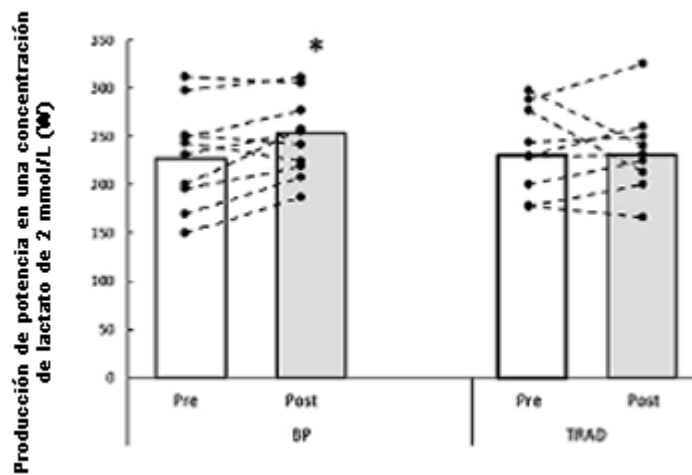


Figura 5. Producción de potencia (W) en una $[La^-]$ de 2 mmol/L antes (Pre) y después (Post) del período de intervención para el grupo de periodización por bloques (BP) y el grupo tradicional (TRAD). * Valor mayor que el encontrado en Pre ($P < 0,05$).

DISCUSION

Según nuestros conocimientos, éste es el primer estudio en el cual se compararon los efectos de la periodización por bloques de HIT con los de un enfoque de entrenamiento más tradicional, sobre los niveles de adaptaciones al entrenamiento en atletas entrenados en resistencia utilizando un protocolo que proporciona volúmenes e intensidades de entrenamiento similares. Los resultados sugieren que el BP induce adaptaciones ergogénicas más profundas en parámetros importantes para el rendimiento de resistencia que el entrenamiento TRAD. Mientras los ciclistas del grupo BP aumentaron su VO_{2max} , W_{max} , MAP y producción de potencia en la $[La^-]$ de 2 mmol/L ningún cambio se observó en TRAD. Estas diferencias fueron evidentes a pesar de que el protocolo de estudio investigó el efecto de sólo 4 semanas de entrenamiento. Las observaciones presentes coinciden con los estudios anteriores realizados en el tema (Breil et al., 2010; García-Pallares et al, 2010; Støren et al, 2011).

VO_2 max

El 4,6% de aumento en VO_{2max} observado en respuesta a BP en el estudio actual coincide con el aumento de 6% encontrado en respuesta a un bloque de HIT de 11 días descrito por Breil et al. (2010). Lamentablemente, en el estudio de Breil et al. (2010), el grupo control continuó su entrenamiento habitual por lo que produjo una diferencia en el volumen total de HIT entre los dos grupos. Esto dificultó la separación del efecto de la periodización por bloques per se del efecto de la diferencia en el volumen de HIT. Por otra parte, en el presente estudio, el número de sesiones de HIT fue idéntico en el grupo BP y el grupo TRAD por lo que las adaptaciones ergogénicas encontradas en los ciclistas del grupo BP probablemente se deban a la organización del entrenamiento.

Los estudios previos realizados con ciclistas entrenados observaron que períodos de intervención similar al grupo TRAD incluido en este estudio producían mejores VO_{2max} , W_{max} o rendimiento en pruebas contrarreloj (período de intervención de 3-6 semanas con cuatro a ocho repeticiones de intervalos aeróbicos de 4-5-min al 80-85% de W_{max} ; Lindsay et al, 1996; Westgarth-Taylor et al, 1997; Stepto et al, 1999). Por consiguiente, era algo inesperado que el grupo TRAD no presentara mejoras. Por otro lado, en un estudio reciente, Nimmerichter et al. (2012) utilizaron una intervención de HIT similar a la realizada por el grupo TRAD en el presente estudio (6x5 min dos veces por semana durante 4 semanas). Ellos tampoco observaron cambios en VO_{2max} , W_{max} , ni en la producción de potencia en el umbral ventilatorio (Nimmerichter et al., 2012). De hecho, estudios de 7-8 semanas de duración con dos a tres sesiones de HIT (4x4 min) por semana han informado cambios en VO_{2max} (5-7%) similares a los encontrados en el grupo BP en el presente estudio (Helgerud et al, 2007; Seiler et al. 2011). Esto podría utilizarse para indicar que se necesitan periodos de intervención de entrenamiento de mayor duración para el grupo TRAD para observar mejoras en el rendimiento. Notablemente, Nimmerichter et al. (2012) observaron mejoras en una prueba contrarreloj al aire libre de 20 min. Esto indica que las pruebas realizadas en laboratorio pueden ser menos sensibles que las pruebas realizadas al aire libre en la propia bicicleta de los ciclistas para

revelar mejoras en el nivel de rendimiento deportivo. Lamentablemente, en el presente estudio no se determinó el rendimiento en la prueba contrarreloj. Sin embargo, las pruebas realizadas en el laboratorio tienen sus ventajas en lo que se refiere al ambiente controlado. Se ha demostrado que la W_{max} obtenida durante una prueba de esfuerzo progresiva hasta el agotamiento es un buen estimador de rendimiento de pruebas contrarreloj de 20 km al aire libre ($r = 0,91$; Hawley & Noakes 1992).

W_{max} , MAP y Umbral del Lactato

Se ha demostrado que la W_{max} permite distinguir a los ciclistas altamente entrenados de los ciclistas de élite, algo que no es aplicable al VO_{2max} , esto la transforma en un estimador adecuado de rendimiento en ciclismo (Lucía et al., 1998). Por lo tanto, en el presente estudio son muy interesantes los aumentos en W_{max} y MAP encontrados en respuesta al entrenamiento BP pero no el entrenamiento TRAD. Esto sugiere que se produjo una mejora en el rendimiento en BP, pero no en TRAD. El W_{max} mejorado en respuesta al entrenamiento BP coincide con la observación hecha por Breil et al. (2010) después de un bloque de HIT de 11 días. Evidencia adicional de mejora en el rendimiento en el grupo BP se encuentra en el aumento en la producción de potencia en la $[La^-]$ de 2 mmol/L. Cualquier desplazamiento hacia la derecha de la curva de $[La^-]$ produce un mayor umbral de lactato independientemente de como se determinó el umbral de lactato (Tokmakidis et al., 1998). Un mejor umbral de lactato teóricamente significa que un atleta puede mantener una mayor relación velocidad/producción de potencia durante una competencia de resistencia de larga duración. Numerosos estudios han informado una relación fuerte entre el rendimiento a largo plazo y los umbrales de lactato en ciclismo y se ha demostrado que tales parámetros submáximos pueden ser utilizados para predecir el rendimiento de resistencia en ciclistas con valores de VO_{2max} igualmente elevados (ej. Bishoop et al 2000; Lucía et al., 2004). Tanto después de HIT de largo plazo (por ejemplo, Helgerud et al., 2001, 2007) como después de un período corto de HIT (Breil et al., 2010) se ha observado un mayor rendimiento en el umbral de lactato. Notablemente, se ha sugerido que el entrenamiento de baja intensidad solo, puede aumentar la velocidad en el umbral de lactato en los sujetos entrenados en resistencia (Ingham et al., 2008). Es improbable que esto haya afectado los resultados del estudio actual, porque el período de intervención fue demasiado corto para permitir las contribuciones importantes del modo lento de adaptación típicamente presentadas por este tipo de entrenamiento en los atletas entrenados (Costill et al., 1991).

El hallazgo presente de ausencia de cambios significativos en el umbral del lactato expresado como % de VO_{2max} , en los dos grupos de entrenamiento coincide con lo observado en otros estudios realizados con atletas entrenados en resistencia (e.g. Sjodin et al., 1982; Helgerud et al., 2001, 2007). Mas aún, el resultado de una eficiencia bruta estable también coincide con las observaciones previas realizadas para ciclistas (Impellizzeri & Marcora, 2007; Rønnestad et al., 2010b). Sin embargo, se han informado cambios estacionales en la eficiencia bruta (Sassi et al., 2008; Hopker et al., 2009), pero no son esperables durante un período de entrenamiento corto en ciclistas entrenados. Además, la observación de ausencia de cambios en la economía de pedaleo coincide con lo observado en estudios previos (Rønnestad et al., 2010a, 2010b; Aagaard et al., 2011). Debido a que se ha sugerido que se necesita un volumen elevado de entrenamiento de resistencia de baja intensidad durante un período extenso de tiempo para mejorar la economía de trabajo de atletas de resistencia (Scrimgeour et al., 1986; Lucía et al., 2002), no se esperó ninguna mejora durante el período de intervención presente de 4 semanas.

Bienestar en las Piernas

Se ha sugerido que la periodización por bloques es más eficaz que la organización tradicional de entrenamiento (Issurin, 2010). Esto ha sido atribuido a su enfoque en desarrollar algunas habilidades selectivas en cada bloque, asegurando así estímulos y adaptaciones adecuadas, mientras que al mismo tiempo mantiene otras habilidades importantes para el rendimiento (Issurin, 2010). En el estudio presente, un bloque de cinco sesiones del HIT produjo aumentos en VO_{2max} , W_{max} y en el umbral de lactato en ciclistas entrenados. La fatiga acumulada del bloque HIT probablemente habría inducido un denominado efecto conocido como efecto retardado de larga duración (Issurin, 2010) que permitió a los atletas adaptarse a un nivel más alto de rendimiento. De hecho, sobre la base del bienestar percibido de los ciclistas en sus piernas, parecería que la fatiga se acumuló durante el bloque de HIT. Los ciclistas informaron que sus piernas estaban pesadas después del bloque de HIT, pero regresaron a la normalidad durante las semanas siguientes cuando se centraron en el entrenamiento de baja intensidad, aunque todavía realizaban una sesión por semana de HIT. Por el contrario, el grupo TRAD expresó que sentía sus piernas normales durante todo el período de entrenamiento, lo que indica que el enfoque coexistente de entrenamiento HIT y entrenamiento de baja intensidad produce picos más pequeños de estímulo de entrenamiento. Además, mientras que el grupo BP aumentó la producción de potencia media desde la primera de cada una de las cuatro sesiones de HIT de la semana 1 a la última sesión de HIT de la semana 4, lo que indica un mejor rendimiento, el grupo de TRAD no aumentó su producción de potencia media significativamente en las sesiones de HIT extremas durante el curso de la intervención.

Conclusión

El presente estudio indica que organizar el entrenamiento de resistencia en un entrenamiento de 5 sesiones HIT por bloques durante 1 semana seguido por 3 semanas de un entrenamiento HIT de una sesión por semana y un enfoque general de entrenamiento de baja intensidad produce adaptaciones superiores a las observadas durante una organización tradicional de 4 semanas con dos sesiones semanales de HIT intercaladas con entrenamiento de baja intensidad. Esto fue evidente a partir de las mejoras en VO_{2max} , W_{max} y producción de potencia en $[La^-]$ de 2 mmol/L en el grupo BP y fue destacado por el ES de la mejora relativa de estas variables que revelaron un efecto grande a moderado de realizar entrenamiento BP en comparación con entrenamiento TRAD. Esta superioridad de BP se observó a pesar de que el volumen total e intensidad del entrenamiento fueron similares en los dos modos de organización de entrenamiento. Es importante destacar que los efectos a largo plazo del BP siguen siendo desconocidos. Los efectos de repetir el presente período de 4 semanas de BP durante un período de tiempo más largo deben ser investigados.

Perspectivas

La comunidad científica parece estar de acuerdo con el hecho que una combinación de entrenamiento de baja intensidad y de HIT es necesaria para obtener adaptaciones óptimas para el rendimiento de resistencia (por ejemplo, Seiler & Kjerland, 2006; Laursen, 2010). Sin embargo, no se sabe cómo organizar mejor conjuntamente las dos formas de entrenamiento en los atletas altamente entrenados. Se ha argumentado que la organización de entrenamiento tradicional tiene ese aspecto débil en que se enfoca en el desarrollo simultáneo de demasiadas habilidades, lo que produce un estímulo subóptimo y adaptaciones subóptimas (Issurin, 2010). Se ha afirmado que la periodización por bloques evita esto enfocándose en algunas habilidades seleccionadas durante un período corto de tiempo, lo que permite un mayor estímulo de entrenamiento (Issurin, 2010). El estudio presente apoya el último postulado demostrando que la periodización por bloques proporciona efectos superiores en los parámetros importantes para el rendimiento de resistencia en ciclistas entrenados. En síntesis, un bloque de HIT de cinco-sesiones en 1 semana seguido por 3 semanas de focalización en entrenamiento de baja intensidad produce adaptaciones de entrenamiento superiores en comparación con 4 semanas de un entrenamiento de organización tradicional con dos sesiones de HIT semanales intercaladas con entrenamiento de baja intensidad. Esta superioridad de la periodización por bloques se observa a pesar del hecho de que el volumen total de entrenamiento y la intensidad eran similares entre las dos metodologías de organización del entrenamiento. Es importante destacar que aunque el presente estudio aporte evidencia de una adaptación superior en los determinantes de rendimiento después de la periodización por bloques, es necesario investigar los efectos en el rendimiento de pedaleo real, como por ejemplo en una prueba contrarreloj.

Conflictos de interés

No existen conflictos de interés.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Erika Elisabeth Zacharoff, Línea Hábrekke Rolstad, Eivind André Tornes, y Lars Stenslokken por su ayuda en la recolección de los datos. También agradecemos al grupo dedicado de ciclistas que realizaron los tests e hicieron posible este estudio.

REFERENCIAS

1. Aagaard P, Andersen JL, Bennekou M, Larsson B, Olesen JL, Crameri R, Magnusson SP, Kjaer M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scand J Med Sci Sports*: 21: e298-e307.
2. Bertucci W, Due S, Villerius V, Pernin JN, Grappe F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *Int J Sports Med*: 26: 868-873.
3. Billat LV. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. Sports Med*: 31: 13-31.
4. Bishop D, Jenkins DG, McEniery M, Carey MF. (2000). Relationship between plasma lactate parameters and muscle characteristics in female cyclists. *Med Sci Sports Exerc*: 32: 1088-1093.
5. Breil FA, Weber SN, Koller S, Hoppeler H, Vogt M. (2010). Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO_{2max} and performance. *Eur J Appl Physiol*: 109: 1077-1086.
6. Costill DL, Thomas R, Robergs RA, Pascoe D, Lambert C, Barr S, Fink WJ. (1991). Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Med Sci Sports Exerc*: 23: 371-377.
7. Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF, Beltz JD. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc*: 24: 782-788.

8. Esteve-Lanao J, San Juan AF, Earnest CP, Foster C, Lucia A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med Sci Sports Exerc*: 37: 496-504.
9. Esteve-Lanao J, Foster C, Seiler S, Lucia A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J Strength Cond Res*: 21: 943-949.
10. Fox EL, Bartels RL, Billings CE, Mathews DK, Bason R, Webb WM. (1973). Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Med Sci Sports*: 5: 18-22.
11. García-Pallares J, García-Fernández M, Sánchez-Medina L, Izquierdo M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *Eur J Appl Physiol*: 110: 99-107.
12. Hawley JA, Noakes TD. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*: 65: 79-83.
13. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*: 33: 1925-1931.
14. Helgerud J, Høydal 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 V_{O2} max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*: 39: 665-671.
15. Hopker J, Coleman D, Passfield L. (2009). Changes in cycling efficiency during a competitive season. *Med Sci Sports Exerc*: 41: 912-919.
16. Hopkins WG. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*: 30: 1-15.
17. Impellizzeri FM, Marcora SM. (2007). The physiology of mountain biking. *Sports Med*: 37: 59-71.
18. Ingham SA, Carter H, Whyte GP, Doust JH. (2008). Physiological and performance effects of low- versus mixed-intensity rowing training. *Med Sci Sports Exerc*: 40: 579-584.
19. Issurin VB. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med*: 40: 189-206.
20. Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA. (2000). The bioenergetics of World Class Cycling. *J Sci Med Sport*: 3: 414-433.
21. Laursen PB. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports*: 20.
22. Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH, Schomer HH, Noakes TD, Dennis SC. (2010). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 1996: 28: 1427-1434.
23. Lucia A, Hoyos J, Pérez M, Santalla A, Earnest CP, Chicharro JL. (2004). Which laboratory variable is related with time trial performance time in the Tour de France? *Br J Sports Med*: 38: 636-640.
24. Lucía A, Pardo J, Durántez A, Hoyos J, Chicharro JL. (1998). Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int J Sports Med*: 19: 342-348.
25. Lucía A, Hoyos J, Pérez M, Santalla A, Chicharro JL. (2002). Inverse relationship between V_{O2}max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med Sci Sports Exerc*: 34: 2079-2084.
26. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. (2006). Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med*: 36: 117-132.
27. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med*: 37: 857-880.
28. Nimmerichter A, Eston R, Bachl N, Williams C. (2012). Effects of low and high cadence interval training on power output in flat and uphill cycling time-trials. *Eur J Appl Physiol*: 112: 69-78.
29. Pate RR, Kriska A. (1984). Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med*: 1: 87-98.
30. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. (2010). In-season strength maintenance training increases well-trained cyclists' performance. *Eur J Appl Physiol*: 110: 1269-1282.
31. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. (2010). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*: 108: 965-975.
32. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports*: 21: 250-259.
33. Sassi A, Impellizzeri FM, Morelli A, Menaspá P, Rampinini E. (2008). Seasonal changes in aerobic fitness indices in elite cyclists. *Appl Physiol Nutr Metab*: 33: 735-742.
34. Scrimgeour AG, Noakes TD, Adams B, Myburgh K. (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*: 55: 202-209.
35. Seiler KS, Kjerland GO. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an 'optimal' distribution? *Scand J Med Sci Sports*: 16: 49-56.
36. Seiler S, Jøranson K, Olesen BV, Hetlelid KJ. (2011). Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports*: doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01351.x.
37. Seiler S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform*: 5: 276-291.
38. Shephard RJ. (1968). Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a training regime. *Int Z Angew Physiol*: 26: 272-278.
39. Sjödin B, Jacobs I, Svedenhag J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation.
40. Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc*: 31: 736-741.
41. Støren O, Sanda SB, Haave M, Helgerud J. (2011). Improved V_{O2}max and time trial performance with more high aerobic intensity interval training and reduced training volume; a case study on an elite national cyclist. *J Strength Cond Res*: DOI: 10.1519/JSC.0b013e318241deec.
42. Tanaka K, Watanabe H, Konishi Y, Mitsuzono R, Sumida S, Tanaka S, Fukuda T, Nakadomo F. (1986). Longitudinal associations

- between anaerobic threshold and distance running performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*: 55: 248-252.
43. Tokmakidis SP, Léger LA, Piliandis TC. (1998). Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*: 77: 333-342.
44. Wenger HA, Bell GJ. (1986). The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med*: 3: 346-356.
45. Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*: 75: 298-304.
46. Yoshida T, Udo M, Chida M, Ichioka M, Makiguchi K, Yamaguchi T. (1990). Specificity of physiological adaptation to endurance training in distance runners and competitive walkers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*: 61: 197-201.

Cita Original

B. R. Rønnestad, J. Hansen and S. Ellefsen. Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 2012.