PubliCE, (PubliCE) 2014

Article

El Entrenamiento de la Fuerza Mejora el Rendimiento en un Test Máximo de 5 min Realizado a Continuación de 185 Minutos de Ciclismo

B. R. Ronnestad[1], E. A. Hansen[2] y T. Raastad[2]

[1]*Lillehammer University College, Lillehammer, Norway*
[2]*Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway*

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue investigar los efectos del entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad en ciclistas bien entrenados sobre la producción de potencia media en un test máximo de 5 min realizado luego de 185 min de ejercicios de ciclismo submáximos al 44% de la producción de potencia aeróbica máxima. Veinte ciclistas bien entrenados fueron asignados a un grupo que realizó entrenamiento de resistencia habitual junto con entrenamiento con sobrecarga de alta intensidad [E+S; n = 11 (varones= 11)] o a un grupo que realizó solamente el entrenamiento de resistencia usual [E; n = 9 (varones = 7, mujeres= 2)]. El entrenamiento con sobrecarga realizado por el grupo E+S consistió en cuatro ejercicios para los miembros inferiores [3 x 4-10 repeticiones máximas (RM)], que fueron realizados dos veces por semana durante 12 semanas. El grupo E+S presentó un aumento en 1 RM en media sentadilla ($P \leq 0,001$), mientras que en el grupo E no se observó ningún cambio. El grupo E+S presentó mayores disminuciones que el grupo E en el consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca, concentración de lactato sanguíneo e índice de esfuerzo percibido ($P<0,05$) durante la última hora del ejercicio de ciclismo prolongado. Además el grupo E+S presentó un aumento en la producción de potencia media durante el test máximo de 5 min (de 371±9 a 400±13 W, $P<0,05$), pero no se observaron cambios en E. En conclusión, el agregado de entrenamiento con sobrecarga al entrenamiento de resistencia usual mejora la fuerza de piernas y el rendimiento en el test máximo de 5 min luego de 185 min de ciclismo en ciclistas bien entrenados.

Palabras Clave: Media sentadilla, economía de movimiento, potencia aeróbica, consumo de oxígeno máximo, entrenamiento concurrente

INTRODUCCION

El entrenamiento es la primera manera y la más obvia para mejorar el rendimiento en el ciclismo (Jeukendrup & Martin, 2001). Por consiguiente se invierte una cantidad sustancial de esfuerzo y de recursos para estudiar los diferentes métodos de entrenamiento que tienen el potencial de mejorar el rendimiento en ciclismo. La incorporación de entrenamiento con

sobrecarga a la preparación de ciclistas ha recibido algo de atención durante las últimas dos décadas (Hickson et al., 1988; Bishop et al., 1999; Bastiaans et al., 2001). Una hipótesis preliminar sugirió que el entrenamiento de la fuerza puede mejorar el rendimiento en ciclismo de resistencia disminuyendo la fracción de la fuerza máxima de pedal necesaria para cada pedaleada, cambiando el patrón de reclutamiento de fibras musculares hacia las fibras más activas de tipo I, lo que finalmente produciría un menor gasto de energía (Hickson et al., 1988).

Esta hipótesis fue presentada en un trabajo de investigación que informó que duatletas aumentaron su tiempo hasta el agotamiento en ejercicios de ciclismo al 80% de VO_{2max} después de aumentar su entrenamiento de resistencia regular con entrenamiento de la fuerza durante 10 semanas (Hickson et al., 1988). Es necesario destacar que este estudio no tenía ningún grupo control por lo que los resultados deben ser interpretados con cuidado. Otro estudio en que los ciclistas realizaron 9 semanas de entrenamiento de fuerza explosiva con cargas livianas con muchas repeticiones (movilización máxima en la fase concéntrica) no observó ninguna diferencia en el rendimiento de una prueba contrarreloj y en la economía de ciclismo entre el grupo control y el grupo que realizó la intervención (Bastiaans et al., 2001). Por lo tanto no está claro cual es el efecto del entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de ciclismo.

Muchas competencias de ciclismo de ruta incluyen grandes tramos con ejercicios de baja intensidad. Tanto en el Tour de Francia como en la Vuelta a España, alrededor del 70% de la duración de la carrera transcurre en intensidades de ejercicio caracterizadas como “intensidad baja" (debajo del umbral ventilatorio) (Lucía et al., 1999, 2003). Por lo tanto el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre la economía del ciclismo es particularmente importante. Si el entrenamiento de la fuerza puede mejorar la economía del ciclismo y por lo tanto reducir la carga metabólica, se esperaría un agotamiento de las reservas de glucógeno más lento y un aumento potencial en la capacidad para el rendimiento de alta intensidad luego de ciclismo prolongado. Sin embargo, aún no se ha investigado si el entrenamiento de la fuerza puede mejorar el rendimiento en ciclismo de alta intensidad realizado luego de ciclismo prolongado.

Un escenario común en las carreras de ruta es un período inicial largo (> 180 min) de ciclismo a una intensidad baja a moderada, seguido por ciclismo de muy alta intensidad al final de la carrera. La gran duración de las competencias de ciclismo de ruta es un desafío único para los investigadores. Las consideraciones prácticas producen a menudo evaluaciones científicas de métodos de entrenamiento que no simulan adecuadamente la gran duración del ejercicio. Sin no que, por el contrario, se evalúan mediciones de rendimiento indirectas como el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), umbral del lactato y economía o eficiencia de trabajo (Bassett and Howley, 2000). Estos parámetros son importantes para el rendimiento de resistencia, pero son parámetros secundarios frente a medidas de rendimiento como la producción de potencia en los tests máximos.

El objetivo principal de este estudio fue investigar como el efecto de adicionar entrenamiento con sobrecarga al entrenamiento de resistencia usual durante 12 semanas, afecta la producción de potencia media durante un test máximo de 5 min realizado luego de realizar 185 min de ciclismo submáximo. Un objetivo secundario fue investigar el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre las respuestas fisiológicas y el esfuerzo percibido durante la práctica de ciclismo submáximo prolongado. Los participantes fueron ciclistas altamente entrenados. Se planteó la hipótesis que mediante el agregado de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad al entrenamiento de resistencia usual, se mejoraría la repetición máxima (1 RM) en media sentadilla, la economía de ciclismo durante el ciclismo prolongado y la producción de potencia media en un test máximo de 5 min realizado luego de un ejercicio de ciclismo prolongado.

METODOS

Sujetos

Veintitrés ciclistas bien entrenados participaron voluntariamente en este estudio que fue aceptado por la división regional de *Southern Norway* de los Comités Nacionales de Ética en Investigación de Noruega. Todos los ciclistas firmaron un formulario de consentimiento informado antes de participar. Ninguno de los ciclistas había realizado entrenamiento de la fuerza en los 6 meses previos al estudio. Tres de los ciclistas no completaron el estudio debido a enfermedad durante el período de intervención y sus datos no fueron considerados. Las características de los ciclistas al inicio del estudio y después del período de la intervención se presentan en la Tabla 1.

Diseño experimental

Las pruebas se realizaron al inicio del estudio (pre-intervención) y al final (post-intervención) de la intervención de 12 semanas. Los ciclistas podían elegir en cual grupo participar. El grupo experimental [E+S; n=11 (varones=11), edad 27±2 años] realizó entrenamiento con sobrecarga de alta intensidad además del entrenamiento de resistencia habitual. Los ciclistas del grupo control (E; n=9; varones=7; mujeres=2), de 30±2 años simplemente continuaron con su entrenamiento deresistencia habitual. La intervención fue realizada durante la fase de preparación previa a la temporada de competencia.

Entrenamiento

El entrenamiento de la resistencia consistió principalmente en ciclismo, pero también se realizó algo de esquí de fondo (hasta 10% del volumen de entrenamiento total). El volumen y la intensidad se calcularon en base a los registros de los monitores de frecuencia cardíaca(HR) (Polar, Kempele, Finlandia). El entrenamiento de resistencia fue dividido en cinco zonas de HR: (1) 60-72%, (2) 73-82%, (3) 83-87%, (4) 88-92% y (5) 93-100% de la HR máxima. Una apreciación global de la distribución del entrenamiento de resistencia en las cinco zonas de intensidad para ambos grupos se presenta en la Figura 1. El tiempo total destinado al entrenamiento de resistencia y la distribución de este entrenamiento dentro de las zonas de entrenamiento fue similar en los dos grupos.

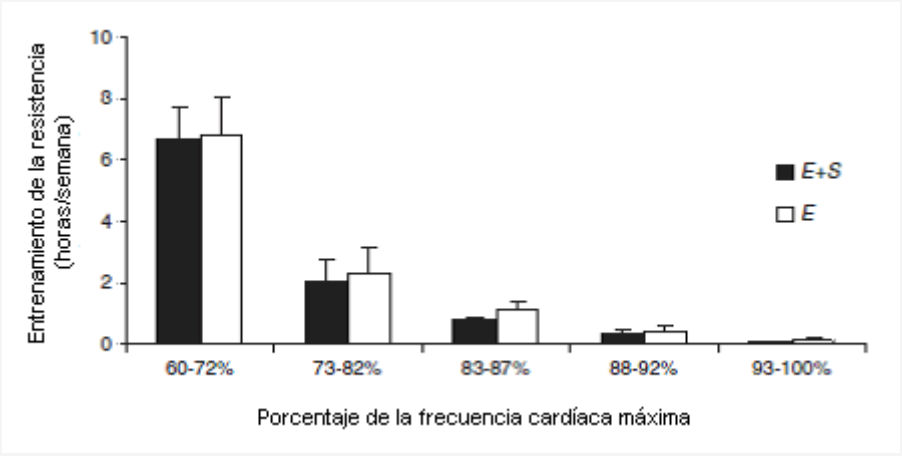

Figura 1. *Entrenamiento de la resistencia durante 12 semanas de entrenamiento de la resistencia combinado con entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (E+S) o entrenamiento de resistencia solo E*

El entrenamiento de la fuerza de alta intensidad realizado por los ciclistas en el grupo E+S se centró en la fuerza de piernas y fue realizado dos veces por semana. En aquellos días en que se había fijado entrenamiento de la fuerza y entrenamiento de resistencia, se aconsejó a los ciclistas realizar el entrenamiento con sobrecarga en la primera sesión de entrenamiento del día y el entrenamiento de resistencia en la segunda sesión. Una revisión de los diarios de entrenamiento de los ciclistas confirmó que obedecieron ampliamente esta recomendación (0-5 sesiones de entrenamiento de la fuerza fueron realizadas después de una sesión de entrenamiento de la resistencia). Al inicio de cada sesión de entrenamiento de la fuerza, los ciclistas realizaron una entrada en calor de aprox. 10 min a una intensidad seleccionada por ellos mismos en una bicicleta ergométrica fija, seguida por dos a tres series de entrada en calor de media sentadilla con una carga gradualmente creciente. Los ejercicios de fuerza realizados fueron: media sentadilla en una máquina Smith (*Gym 80 Internacional, Gelsenkirchen, Alemania*), press de piernas unilateral, flexión de cadera unilateral y flexión plantar (elevación de talones). Todos los ciclistas fueron supervisados por un investigador en todos los entrenamientos durante las primeras 2 semanas y después de esto por lo menos una vez cada dos semanas durante el período de intervención. Durante las primeras 3 semanas, los ciclistas entrenaron con series de 10RM en la primera sesión semanal y series de 6RM durante la segunda sesión semanal. Durante las siguientes 3 semanas, las series fueron ajustadas a 8RM y 5RM para la primera y secunda sesiones semanales, respectivamente. Durante las 6 semanas finales, las series se ajustaron a 6RM y 4RM, respectivamente. Se estimuló a los ciclistas para que aumentaran sus cargas en RM continuamente a lo largo del período de intervención y se les permitió solicitar ayuda en la última repetición. El número de series en cada ejercicio siempre fue tres. Sobre la base de la suposición de que es la velocidad intencional y no la velocidad real quien determina la respuesta de entrenamiento velocidad-específica (Behm y Sale, 1993), el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad se realizó con la intención de realizar la aceleración máxima de la carga durante la fase concéntrica (duración de aprox. 1 segundo), mientras que la fase excéntrica fue realizada más despacio (duración aprox. de 2-3 segundos).

Evaluaciones

Los test pre y post-intervención fueron divididos cada uno en tres sesiones de evaluación separadas: fuerza máxima, consumo de oxígeno máximo y rendimiento en ciclismo. Se solicitó a los ciclistas que no realizaran ejercicio de alta intensidad el día previo a una prueba y que consumieran el mismo tipo de alimentos antes de las pruebas. No se les permitió comer durante la hora previa a una prueba ni consumir café u otros productos que contuvieran cafeína durante las 3 horas previas a una prueba. Los ciclistas fueron refrescados con un ventilador durante las series de ejercicio. Todas

las pruebas se realizaron bajo condiciones medioambientales similares (20-22 °C). Las pruebas pre y post-intervención fueron realizadas en aproximadamente el mismo momento del día para evitar la variación del ritmo circadiano. Todas las pruebas de ciclismo se realizaron en la misma bicicleta ergométrica con freno electromagnético (*Lode Excalibur Sport, Lode B. V., Groningen, Países Bajos*) que se ajustó según las preferencias de cada ciclista en parámetros como altura del asiento, distancia entre el asiento y el manubrio y distancia horizontal entre la punta del asiento y el centro o eje de pedalier. Los ciclistas pudieron escoger su cadencia preferida durante todas las pruebas de ciclismo y usaron sus propios zapatos y pedales.

Fuerza Máxima

La fuerza se midió en la primera sesión de prueba. La fuerza máxima de los extensores de piernas se midió como 1RM en media sentadilla en una máquina Smith. Antes de la prueba inicial, se realizaron dos sesiones de familiarización con el propósito de instruir a los ciclistas sobre la técnica apropiada de levantamiento y el procedimiento de prueba. Las pruebas de fuerza siempre fueron precedidas por una entrada en calor de 10 min en una bicicleta ergométrica. Luego de la entrada en calor, los ciclistas realizaron un protocolo estandarizado que consistió en tres series con una carga gradualmente creciente (40%, 75%, y 85% 1RM estimada) y un número decreciente de repeticiones (10, 7 y 3). La profundidad de la media sentadilla en el test de 1RM se fijó en un ángulo de rodilla de 90°. Para asegurar ángulos de rodilla similares durante todas las pruebas, la profundidad de la sentadilla de los ciclistas fue supervisada cuidadosamente y fue marcada en una escala en la máquina Smith. Así, cada ciclista tenía que alcanzar su profundidad individual marcada en la escala para que el levantamiento sea aprobado. De manera similar, se controló la ubicación de los pies en cada ciclista para asegurar que las ubicaciones sean idénticas en todas las pruebas. El primer esfuerzo de 1RM se realizó con una carga aproximadamente 5% por debajo de la carga 1RM estimada. Después de cada esfuerzo exitoso, la carga se incrementó 2-5% hasta que el ciclista no pudiera levantar la misma carga después de dos o tres esfuerzos consecutivos. El período de descanso entre cada esfuerzo fue de 3min. Los test pre y post intervención fueron realizados con el mismo equipo y con la misma ubicación del ciclista en el equipo y fueron supervisados por el mismo investigador experimentado. El test de fuerza post intervención fue realizado 3-5 días después de la última sesión de entrenamiento de la fuerza. El coeficiente de variación de la confiabilidad test-retest de este test fue 2,9% (Ronnestad, 2009).

Consumo de Oxígeno Máximo

En la segunda sesión de evaluación, los ciclistas realizaron un test incremental en bicicleta ergométrica para la determinación del VO_{2max}. La segunda sesión de evaluación se realizó 2-5 días después de la primera sesión. Los ciclistas empezaron con una entrada en calor de 10 min en la bicicleta ergométrica, y luego realizaron un breve descanso. Luego comenzó el test de VO_{2max} con 1 min de ciclismo a una producción de potencia equivalente a 3W/kg (redondeado hacia la baja al valor más cercano a 50 W). Luego la producción de potencia fue incrementada 25 W cada 1 min hasta el agotamiento. Cuando los ciclistas estimaban que no podrían tolerar otro aumento de 25 W en la producción de potencia, se los estimuló para que continuaran pedaleando simplemente en la producción de potencia actual tanto como fuera posible (normalmente 30-90 seg). Los ciclistas fueron animados de manera verbal para que continuaran tanto como pudieran. El consumo de oxígeno (VO_2) y la tasa de intercambio respiratorio (RER) fueron determinados (tiempo de muestreo de 30s) usando un sistema metabólico informatizado con una cámara de mezcla (*Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Alemania*). Este sistema metabólico ha sido validado contra el método de la bolsa de Douglas y se ha demostrado que es un sistema exacto para medir el VO_2 (Foss & Hallen, 2005). Los analizadores de gases fueron calibrados con gases de calibración certificados de concentraciones conocidas antes de cada test. La turbina de flujo (*V Triple, Erich Jaeger*) se calibró antes de cada prueba con una jeringa de la calibración de 3 L, serie 5530 (*Hans Rudolph, Kansas City, Missouri, EE.UU.*). El VO_{2max} y los datos complementarios fueron calculados como el promedio de las dos medidas más altas de VO_2. La frecuencia cardíaca (HR) se midió con un monitor de HR (*Polar, Kempele, Finlandia*). La W_{max} se calculó al inicio del estudio como la producción de potencia media durante los últimos 2 min del test incremental. Este valor de W_{max} se utilizó para calcular la producción de potencia relativa que sería utilizada en la sesión de ciclismo prolongado de la prueba final. Después del test incremental, los ciclistas realizaron 15 min de ciclismo de baja intensidad antes de finalizar la sesión de prueba con un test de familiarización para el test máximo de 5 min.

Ciclismo Prolongado seguido por un Test de Ciclismo Máximo de 5 min

En la tercera sesión de evaluación (2-5 días después de la segunda sesión), los ciclistas realizaron un test de ciclismo de 185 min a 44% del W_{max} (determinado en la segunda sesión). Se determinó que el W_{max} era 407±10W para el grupo E+S y 403±26W para el grupo E. por lo tanto la producción de potencia media durante el test de ciclismo prolongado fue 179±4W y 177±11W para E+S y E, respectivamente. La misma producción de potencia absoluta se utilizó en el test post-intervención. La producción de potencia aparentemente modesta se seleccionó en base a investigaciones previas que demostraron que ciclistas de ruta de competición pasan casi la mitad del tiempo de carrera en una producción de potencia <150 W (Brooker, 2003). Durante el test de ciclismo prolongado, la bicicleta ergométrica se fijó en modo de cadencia independiente (producción de W constante), para que la producción de potencia prefijada no fuera afectada por la

cadencia elegida por el ciclista. Se permitió a los ciclistas pararse de vez en cuando en los pedales durante el test de ciclismo prolongado, pero no durante el test máximo final de 5 min. Los valores de VO_2, RER, HR, cadencia, índice de esfuerzo percibido (RPE) y concentración de lactato sanguíneo ($[La^-]$) fueron determinados durante períodos de 5 min períodos cada media hora a lo largo del test de ciclismo prolongado. La $[La^-]$ se midió en sangre completa extraída de las yemas de los dedos con un analizador *Lactate Pro LT-1710* (*Arcray Inc., Kyoto, Japón*). La escala de Borg de esfuerzo percibido se utilizó para determinar el índice de esfuerzo percibido (RPE) como una medida indirecta subjetiva de rendimiento (Borg, 1982). Durante el test de ciclismo prolongado, los ciclistas podían consumir *ad libitum* una bebida deportiva que contenía 75 g/L de carbohidratos para mantener el balance de fluidos y para simular las condiciones de una carrera. Dos minutos después de la finalización del test de ciclismo prolongado de 185 min, se realizó un test máximo de 5 min para la determinación directa objetiva del rendimiento de ciclismo. En concordancia con un estudio previo (Hansen et al., 2006), el test máximo de 5 min fue seleccionado como una medida funcional de la capacidad para realizar ciclismo muy intenso, como ocurre durante un intento de escapada, en ciclismo con viento cruzado o escaladas de ciclismo, todas situaciones que pueden ser decisivas en una carrera de ruta. Para el test máximo de 5 min, se cambió el modo de la bicicleta a modo de cadencia dependiente en el cual la producción de potencia aumenta cuando aumenta la cadencia según la siguiente fórmula: W = L x (r.p.m.)2 donde W es la producción de potencia, r.p.m. es la cadencia y la constante (L) en la fórmula se fijó en 0,044. La constante L determina el engranaje electrónico del sistema. Sobre la base de los resultados de un estudio anterior (Hansen et al., 2006), nosotros estimamos que la producción de potencia media durante el test máximo de 5 min estaría entre 360 y 400 W. Dado que la cadencia preferida para muchos ciclistas a esta intensidad está alrededor de 90-95 r.p.m., la constante en la fórmula se fijó en 0,044. Como ejemplo, una cadencia constante de 93 r.p.m. produciría una producción de potencia media de 381W durante el test máximo de 5 min. Los ciclistas fueron animados a producir una producción de potencia media tan alta como pudieran como el test máximo de 5 min. Los ciclistas recibieron devoluciones con respecto a la producción de potencia y tiempo transcurrido, pero no sobre la HR y la cadencia. La producción de potencia media se calculó y se utilizó para los análisis estadísticos.

Análisis Estadísticos

Todos los valores presentados en el texto, las figuras y las tablas se presentan en forma de Media±SE. Para evaluar las diferencias entre los grupos al inicio, se utilizó el test *t* de *Student* de muestras desapareadas. La mediciones Pre y Post intervención para cada grupo fueron comparadas utilizando un test *t* de *Student* de muestras pareadas (1RM en media sentadilla, VO_{2max} y producción de potencia media durante el test máximo de 5 min). Para analizar cualquier diferencia en los cambios relativos entre los grupos en 1RM en media sentadilla, VO_{2max} y producción de potencia media en el test máximo de 5 min, se realizaron test *t* de *Student* de muestras desapareadas. Los test *t* fueron realizados en Excel 2003 (*Microsoft Corporation, Redmond, Washington, EE.UU.*). El análisis de la varianza de medidas repetidas de dos vías (ANOVA) (con tiempo en el período de intervención y tiempo durante el test de ciclismo prolongado como factores) y el Test *post hoc* de Bonferroni se utilizaron para evaluar las diferencias (valores pre vs post) en las respuestas durante el test de ciclismo prolongado dentro de los grupos. Además, en el test de ciclismo prolongado, los valores medios durante cada hora fueron analizados mediante un ANOVA de dos vías (con grupo y momento durante el test de ciclismo prolongado como factores) y el test *post hoc* de Bonferroni para evaluar las diferencias en los cambios relativos entre los grupos (valores pre vs post). Los análisis de ANOVA fueron realizados con el software *GraphPad Prisma 5* (*GraphPad Software Inc., California, EE.UU.*). Todos los análisis con un valor de $P<0,05$ fueron considerados estadísticamente significativos.

.

RESULTADOS

Inicio del Estudio

No se observaron diferencias significativas entre E+S y E antes del período de intervención en los valores de masa corporal, 1RM en media sentadilla ni en VO_{2max} o sus medidas complementarias (Tabla 1 y Figura 2).

	E+S (n=11)		E (n=9)	
	Pre	**Post**	**Pre**	**Post**
BM (kg)	76,1 ± 2,8	76,7 ± 2,5*	74,9 ±3,1	74,1 ±3,1
VO_{2max}				
L/min	5,10±0,17	5,28±0,22*	5,10±0,33	5,20±0,33*
ml/kg/min	66,8±1,6	69,0±1,6*	65,9±2,0	69,8±2,5*
RER	1,10±0,01	1,10±0,01	1,08±0,01	1,07±0,01
HR_{max}	188±3	188±3	185±3	184±3
[La^-]	13,0±0,6	14,0±0,5	12,2±0,9	12,6±0,6
RPE	18,9 ±0,2	19,1 ±0,2	19,0 ±0,2	18,9 ±0,2

***Tabla 1**. Resultados de la prueba del consumo del oxígeno máximo antes (Pre) y después (Post) de 12 semanas de entrenamiento de resistencia combinado con entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (E+S) o de entrenamiento de resistencia solo (E). Los valores se presentan en forma de Media±SE. *Presenta diferencias significativas respecto a la condición pre-intervención (p<0,05). BM = Masa corporal; VO_{2max} = Consumo de oxigeno máximo; RER = Tasa de intercambio respiratorio; HRmax = Frecuencia cardíaca máxima; [La^-] = Concentración sanguínea de lactato; RPE = Índice de esfuerzo percibido.*

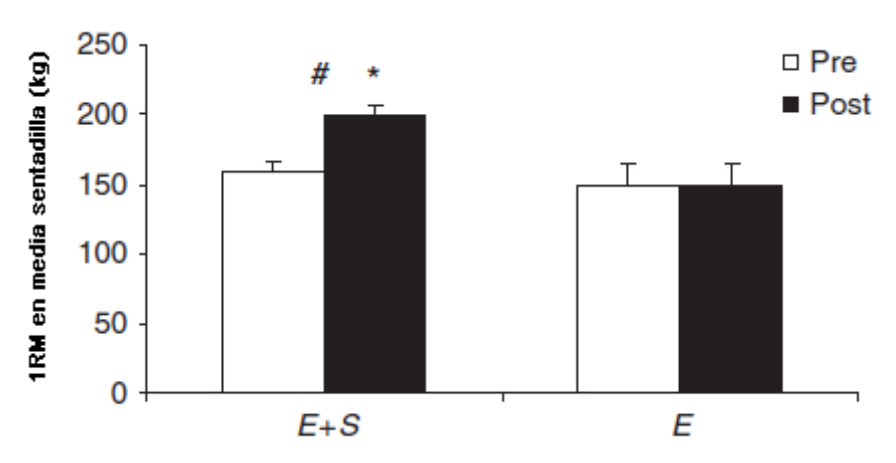

***Figura 2.** 1 RM en media sentadilla antes (Pre) y después (Post) del período de intervención de 12 semanas en donde un grupo agregó entrenamiento de la fuerza de alta intensidad al entrenamiento de resistencia usual (E+S) y otro grupo realizó simplemente el entrenamiento de resistencia usual (E). * Presenta diferencias respecto a la condición Pre-intervención (P<0,01). # Se observan diferencias entre los grupos en el cambio relativo entre los valores Pre y los valores Post-intervención (P<0,01). RM = 1 repetición máxima.*

Fuerza

Durante el período de intervención, E+S presentó un incremento en 1RM en media sentadilla (26±2%, P<0,01, Figura 2), mientras que no se observaron cambios en el grupo E en éste parámetro. Por lo tanto, el cambio pre vs post período de intervención en 1RM en media sentadilla fue mayor en el grupo E+S que en E (P<0,01).

VO_{2max} y Masa Corporal

Los grupos E+S y E aumentaron el VO_{2max} durante el período de intervención (P<0,05). El aumento promedio en VO_{2max} fue de 3±1% para E+S y de 6±2% para E, y no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (Tabla 1). Se observó un pequeño aumento, pero estadísticamente significativo en la masa corporal en el grupo E+S (1,2±0,4%; P<0,05), mientras que en el grupo E no se observó ninguna variación. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en los cambios relativos en la masa corporal en los valores pre vs post intervención.

Respuestas durante el Test de Ciclismo Prolongado

El análisis de ANOVA demostró que el consumo de oxígeno absoluto permaneció sin cambios en los valores pre y post del período de intervención en ambos grupos durante el test de ciclismo prolongado (Figura 3). Sin embargo, el consumo del oxígeno relativo medio (mL 02/min/kg) durante el test de ciclismo de 185 min disminuyó de 52,7±0,8% a 50,7±0,8% del VO_{2max} (P<0,05) en el grupo E+S, mientras que no se observaron cambios significativos en E (el valor al inicio del estudio era 52,4±1,1% de VO_{2max}). Los valores de HR y [La^-] durante la última hora del test de ciclismo prolongado fueron menores en el test post intervención que en el test pre intervención en el grupo E+S (P<0,05, Figura 3). Además, el RPE para E+S fue menor en todos los puntos de tiempo en el test post intervención en comparación con el test pre intervención (P<0,05). El único cambio que se observó en el grupo E después del período de intervención fue un menor RER a los 30 min en el test de ciclismo prolongado (P<0,05, Figura 3). La cadencia durante el test de ciclismo prolongado (80±2 r.p.m. como media en los grupos de estudio, puntos de tiempo y tiempos del período de intervención) se mantuvo sin cambios en ambos grupos desde el inicio del estudio hasta las mediciones post intervención.

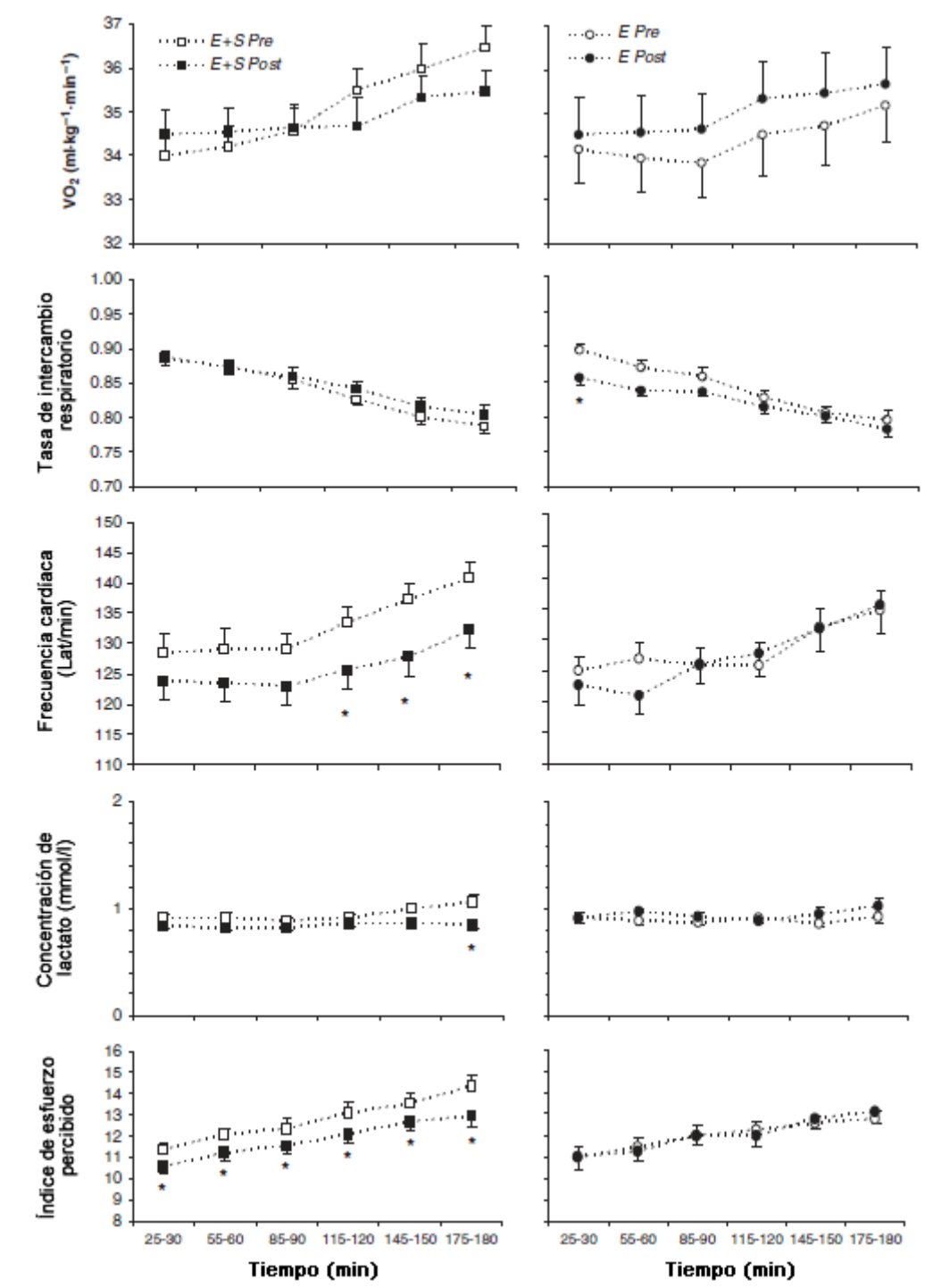

***Figura 3**. Respuestas durante el test de ciclismo de 180 min a 44% del W_{max} obtenido al inicio del estudio, antes de (Pre) y después de (Post) 12 semanas de entrenamiento de resistencia junto con entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (Grupo E+S; gráficos situados a la izquierda) o de entrenamiento de la resistencia usual (Grupo E; gráficos situados a la derecha). * Presenta diferencias respecto a la condición pre-intervención (P<0,05).*

La comparación entre los grupos E+S y E de los cambios relativos durante el período de intervención demostró que durante la última hora del ciclismo prolongado, se produjeron diferencias estadísticamente significativas en el VO_2 (-2,2±0,6% para E+S vs 1,9±1,5% para E), HR (-6,5±1,6% para E+S vs 0,3±2,3% para E), [La^-] (-14,0 ±4,7% para E+S vs 11,3±5,5% para E), y RPE (-8,2±1,6% para E+S vs 2,0±2,3% para E) (P<0,05, Figura 4). No se observaron diferencias entre los grupos en los cambios relativos en RER.

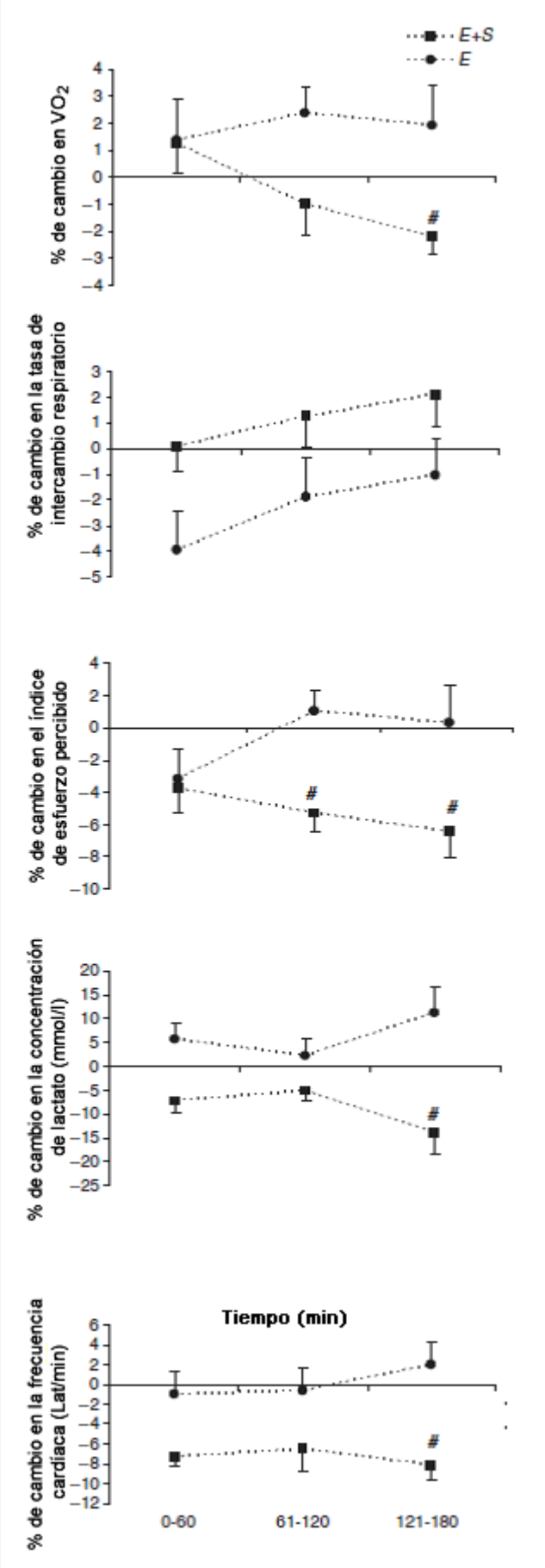

Figura 4. *Cambios relativos (Post vs Pre intervención) en las respuestas durante el test de ciclismo de 180 min al 44% del valor de*

W_{max} determinado al inicio del estudio. #Se observan diferencias respecto al grupo E (P<0,05).

Producción de Potencia Media en el Test Máximo de 5 min

La producción de potencia media durante el test máximo de 5 min realizado a continuación del test de ciclismo prolongados de 185 min aumentó 7,2±2,0% con la intervención (pre vs post) en el grupo E+S (P<0,01, Figura 5), mientras que en el grupo E no se observaron cambios. El cambio relativo en la producción de potencia media durante el test máximo de 5 min también presentó diferencias entre los grupos (P<0,01, Figura 5).

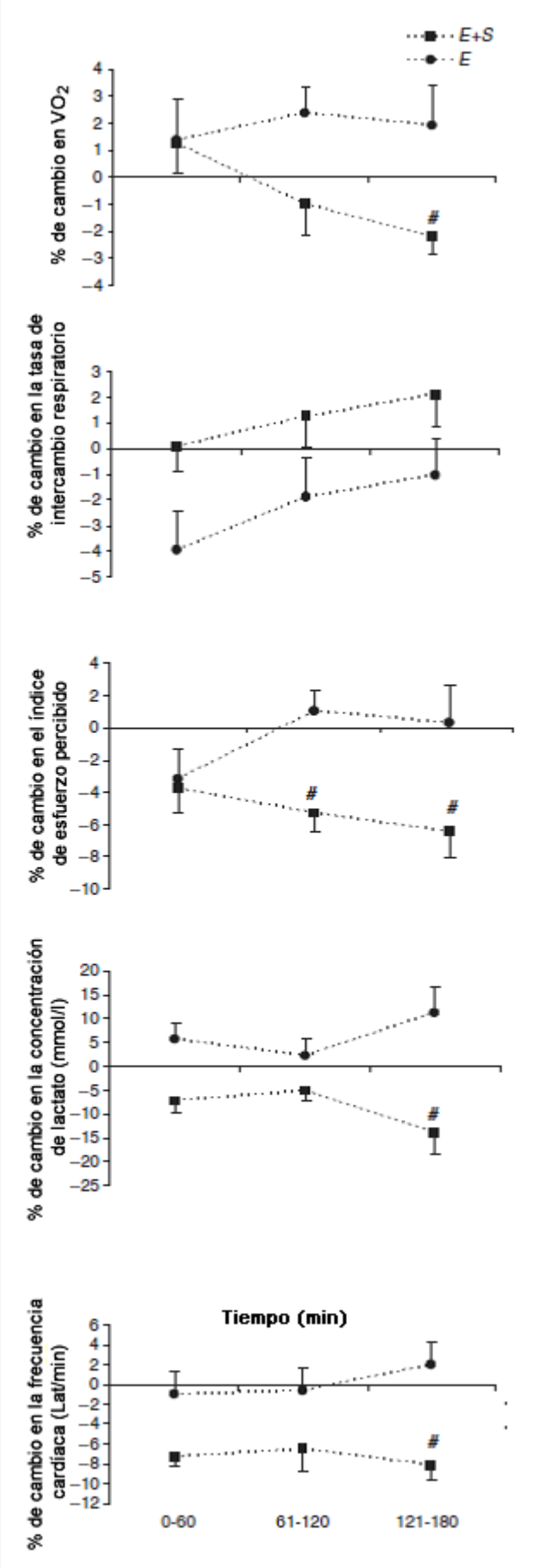

Figura 5. *Producción de potencia media durante el test máximo de 5 min realizado a continuación del test de ciclismo prolongado de 185 min a 44% del W_{max} obtenido al inicio del estudio antes (pre) y después de (post) 12 semanas de entrenamiento de la resistencia*

*combinado con entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (E+S) o entrenamiento de la resistencia solo (E). * Presenta diferencias respecto a la condición pre-intervención (P <0,01). #Diferencia entre los grupos en el cambio relativo entre los valores pre y post intervención (P<0,01).*

DISCUSION

Un nuevo hallazgo del presente estudio fue que la adición de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad al entrenamiento de resistencia habitual de ciclistas altamente entrenados permitió alcanzar una mayor producción de potencia media en un test máximo de 5 min realizado a continuación del test de ciclismo submáximo de 185 min. Esta producción de potencia en el test máximo de 5 min representó la medida directa objetiva de rendimiento en el estudio. Además, los cambios relativos durante el período de intervención en VO_2, HR, $[La^-]$ y RPE durante el ciclismo prolongado fueron todos del lado de los ciclistas que habían realizado el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad, lo que sugiere que el entrenamiento de la fuerza mejora el rendimiento en el ciclismo prolongado. Notablemente, las menores respuestas fisiológicas y psicofisiológicas entre los ciclistas entrenados en fuerza generalmente se produjeron durante la última hora del test de ciclismo prolongado, un resultado que destaca la relevancia de completar las pruebas prolongadas para simular correctamente el ciclismo de ruta en estudios que evalúan la efectividad de los diferentes métodos de entrenamiento.

El aumento de 26% observado en 1RM en media sentadilla coincide con los aumentos de 27% y 25% informados previamente en 1RM en media sentadilla en duatletas y triatletas luego de 10 y 14 semanas de entrenamiento, respectivamente (Hickson et al., 1988; Millet et al., 2002). En estos estudios previos los atletas también realizaron entrenamiento de resistencia y de fuerza simultáneamente. El aumento en la fuerza también concuerda con lo observado en estudios que adicionaron entrenamiento de la fuerza de alta intensidad a las carreras de fondo durante 8-10 semanas (Johnston et al., 1997; Storen et al., 2008). Así, el protocolo de entrenamiento de la fuerza en el presente estudio logró aumentar la fuerza de piernas hasta un nivel que sería esperable cuando se agrega entrenamiento de la fuerza al entrenamiento de resistencia. Además, los resultados del estudio indican que un aumento sustancial en 1RM puede ser alcanzado con poco o nada de aumento en el peso corporal, algo que preocupa a los atletas como ciclistas de escalada o corredores que consideran que es importante una masa corporal baja para obtener un buen rendimiento. Es posible que el aumento en 1RM se deba en parte a las alteraciones en factores nerviosos causados por la alta intensidad de entrenamiento (Hákkinen et al., 1988; Aagaard et al., 2002; Del Balso & Cafarelli, 2007). Además es posible que la hipertrofia en los músculos de las piernas haya contribuido al aumento en 1RM. La masa muscular de las piernas podría aumentar sin un aumento concomitante en la masa corporal porque es probable se produzca un cambio en la composición corporal (menos grasa, mas músculo) en la fase de preparación pre-temporada de entrenamiento durante la cual se realizó el estudio presente. También se ha sugerido que una respuesta al entrenamiento de fuerza puede ser la consolidación de los tejidos a medida que las fibras musculares aumentan su perímetro a expensas de los espacios extracelulares (Goldspink & Harridge, 2003).

La producción de potencia media en el test máximo de 5 min realizado a continuación del test de ciclismo submáximo de 185 min se incrementó ~ 7% en los ciclistas que agregaron el entrenamiento de fuerza de alta intensidad al entrenamiento de resistencia habitual, pero no se observó ningún cambio en los ciclistas que realizaron solo el entrenamiento de resistencia habitual. Esta producción de potencia media fue identificada como la medición directa y objetiva de rendimiento. Por lo tanto el estudio presente apoya la hipótesis planteada hace dos décadas que el entrenamiento de la fuerza puede aumentar potencialmente el rendimiento en ciclismo (Hickson et al., 1988). Sin embargo, en un estudio previo en el cual ciclistas de sexo femenino moderadamente entrenadas agregaron entrenamiento de la fuerza de alta intensidad a su entrenamiento de ciclismo habitual, no se observaron diferencias entre el grupo que realizó la intervención y el grupo control en la producción de potencia media durante una prueba de ciclismo de 1 hora (Bishop et al., 1999). Si bien el aumento en 1RM en media sentadilla observado en el presente estudio fue comparable al encontrado en el estudio de Bishop et al. (1999), los regímenes de entrenamiento de la fuerza eran bastante diferentes. El presente estudio incluyó cuatro ejercicios para el tren inferior del cuerpo, que incluían las media sentadilla, pero en el estudio de Bishop et al. (1999) el único ejercicio realizado fue la sentadilla. Las diferencias en el volumen y los ejercicios del entrenamiento de fuerza, de género y test de rendimiento pueden explicar la diferencia en los resultados, porque en este estudio se realizó un volumen de entrenamiento de fuerza substancialmente mayor (tres veces) al que se realizó en el estudio de Bishop et al. (1999).

La RPE fue determinada durante el test de ciclismo prolongado como una medida indirecta subjetiva del rendimiento. Se ha sugerido que el aumento lineal en el esfuerzo percibido a los largo del tiempo de ejercicio puede ser utilizado como un estimador sensible del tiempo hasta el agotamiento durante el ejercicio (Horstman et al., 1979; Crewe et al., 2008). Es interesante destacar que en la evaluación post intervención, los ciclistas del grupo E+S informaron un menor RPE en todos

los puntos de tiempo durante el test de ciclismo prolongado, mientras que en el grupo E no se observaron cambios. Durante la última hora del ciclismo prolongado, el cambio relativo en RPE en E+ S fue superior al del grupo E. Una interpretación es que los ciclistas entrenados en fuerza no habían alcanzado el agotamiento al final del test de ciclismo prolongado de 185 min y por consiguiente fueron capaces de generar una producción de potencia media más alta durante el test máximo final de 5 min.

Varios modelos intentan explicar la fatiga y el rendimiento durante el ciclismo prolongado. Un modelo sugiere que la fatiga está regulada por la economía y que una mejora en la economía produciría una disminución en VO_2, un menor agotamiento de las reservas de energía, una demora en la acumulación de metabolitos y un aumento atenuado en la temperatura del core (Abbiss & Laursen, 2005). En el presente estudio, el agregado de entrenamiento de la fuerza al entrenamiento de resistencia habitual produjo un efecto “grupo x entrenamiento” en el porcentaje de cambio en la economía de ciclismo en los ciclistas que realizaron el entrenamiento de fuerza, y esto se puede evidenciar por el mayor aumento en VO_2 en E+S durante la última hora del test de ciclismo prolongado. Esto está respaldado por las reducciones superiores observadas en $[La^-]$ y HR en el grupo E+S, durante la última hora del test de ciclismo prolongado. Es probable que el mejor rendimiento en el test máximo de 5-min obtenido por los ciclistas entrenados en fuerza en el test post intervención, sea el resultado de la mejora superior del grupo E+ S en comparación con el grupo E en la economía durante el ciclismo prolongado adquirida por el entrenamiento de la fuerza. Estudios realizados con corredores y esquiadores de fondo también observaron una mejora en la economía después de un período de entrenamiento de la fuerza (Johnston et al., 1997; Hoff et al., 1999, 2002; Millet et al., 2002). Sin embargo, otro estudio realizado con ciclistas no observó aumentos en la economía del ciclismo (Bastiaans et al., 2001). Bastiaans et al. (2001) agregaron entrenamiento de sobrecarga explosiva con cargas elevadas al entrenamiento de resistencia de los ciclistas y no entrenamiento de la fuerza de alta intensidad como el utilizado en este estudio. Esto puede explicar parcialmente los resultados diferentes. Se sabe que el entrenamiento de la fuerza de tipo explosivo con cargas bajas y muchas repeticiones produce un aumento de fuerza inferior al del entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (Weiss et al., 1999). Otra diferencia metodológica entre el estudio presente y el de Bastiaans et al. (2001) se presenta en la forma en que se determinó la economía. En el estudio de Bastiaans et al. (2001) la economía se midió durante un test incremental con 2,5 min de ciclismo en cada producción de potencia, nosotros medimos la economía durante períodos de 5 min cada media hora a lo largo de los 185 min del test de ciclismo submáximo. Durante las primeras 2 h de ciclismo en el presente estudio, no se observó ninguna diferencia entre los grupos en la economía, pero durante la última hora los cambios pre vs post intervención alcanzaron diferencias significativas entre los grupos.

La diferencia entre los grupos en el cambio relativo en la economía durante la última hora de ciclismo prolongado se debería, en parte, a un deterioro no significativo en la economía en el grupo E y en parte a una mejora no significativa en la economía del grupo E+S. Esto es similar a los resultados de un estudio previo realizado con triatletas altamente entrenados (Millet et al., 2002). En ese estudio después del período de intervención, los atletas que realizaron entrenamiento de fuerza además del entrenamiento de resistencia presentaron una economía de carrera superior en comparación con los atletas que simplemente continuaron su entrenamiento de resistencia habitual. Al igual que en el presente estudio, los cambios no fueron significativos. Los autores especularon que la ausencia de una mejora significativa en la economía de carrera de los atletas entrenados en fuerza podía deberse a que estos atletas altamente entrenados tienen un margen estrecho de mejora después de varios años de entrenamiento. Éste también podría ser el caso en el presente estudio y además es importante destacar el hallazgo notable de una mayor producción de potencia media en el test máximo de 5 min luego del test de ciclismo prolongado en el grupo E+S. El pulso de oxígeno (VO_2/HR), una medida considerada como un parámetro de "eficiencia" cardiovascular, presentó los valores más altos en E+S durante la última hora del test de ciclismo de185 min pero en el grupo E no se observaron cambios. No se observaron diferencias entre los grupos (datos no presentados). Si bien las causas específicas de la adaptación favorable en la economía cuando se adiciona entrenamiento de la fuerza de alta intensidad al entrenamiento de resistencia siguen siendo desconocidas, estarían involucrados diferentes mecanismos entre los que se incluyen los mencionados brevemente a continuación.

El patrón de reclutamiento del tipo de fibra muscular también podría intervenir en la economía. Se ha demostrado que las fibras musculares de tipo I son más eficientes que las fibras de tipo II cuando se realiza el ejercicio a una producción de potencia dada durante ejercicio submáximo (Coyle et al., 1992; Hansen et al., 2002; Majerczak et al., 2006; Krustrup et al., 2008). Por lo tanto, dado que el entrenamiento de la fuerza aumenta la fuerza máxima, la fuerza pico o tensión de la fibra muscular desarrollada en cada pedaleada disminuiría a un porcentaje inferior a los valores máximos. Además, según el principio del tamaño del reclutamiento de tipo de fibra muscular (Henneman et al., 1965), este permitiría una menor dependencia de las fibras musculares de tipo II lo que produciría mejora en la economía, reducción en la fatiga muscular global y aumento la capacidad del ciclista de pedalear mucho más tiempo hasta alcanzar el agotamiento (Hickson et al., 1988; Coyle et al., 1992; Horowitz et al., 1994).

El aumento en el VO_{2max} no podría explicar el mejor rendimiento en E+S, porque VO_{2max} aumentó en ambos grupos después del período de intervención y no se observó ninguna diferencia entre los grupos. El aumento en VO_{2max} en E+S contradice lo observado en otros estudios que no encontraron ningún cambio en VO_{2max} después de un período de incorporación de

entrenamiento de la fuerza (Johnston et al., 1997; Hoff et al., 1999, 2002; Millet et al., 2002). Sin embargo, el aumento en VO_{2max} en el estudio presente era esperable, porque las pruebas pre- intervención fueron realizadas aproximadamente 1 mes después del fin de la temporada de competición, que es un momento del año en el cual se observa una disminución en el entrenamiento de resistencia. Durante la fase preparatoria, cuyo comienzo coincidió con los test pre-intervención, ambos grupos aumentaron sustancialmente el entrenamiento de resistencia, lo que probablemente pueda explicar el mayor VO_{2max}. Notablemente, la adición de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad dos veces por semana durante el período de intervención de 12 semanas no afectó negativamente el desarrollo de VO_{2max}. Otros estudios tampoco observaron deterioro en el desarrollo de VO_{2max} en un período similar de entrenamiento donde se realizó entrenamiento de resistencia simultáneamente con entrenamiento de la fuerza (McCarthy et al., 1995; Bell et al., 2000; Balabinis et al., 2003).

En conclusión, como era esperable, la adición de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad dos veces por semana al entrenamiento de resistencia de alto-volumen aumentó la fuerza de piernas de ciclistas altamente entrenados. De importancia práctica aun mayor para los ciclistas, es que el entrenamiento de la fuerza también produjo una producción de potencia media más alta en un test máximo de 5 min realizado luego del test de ciclismo submáximo de 185 min. Esta mejora objetiva en el rendimiento del test máximo de 5-min fue acompañada por mayores reducciones en los puntajes de RPE así como en los valores de VO_2, HR, y $[La^-]$ durante el test de ciclismo prolongado de ciclistas entrenados en fuerza en comparación con los ciclistas que habían realizado el entrenamiento de resistencia habitual.

Perspectivas

La incorporación de entrenamiento de la fuerza a la preparación de ciclistas ha recibido poca atención durante las últimas dos décadas, con resultados divergentes. El entrenamiento de la fuerza de alta intensidad debe, sobre la base de los resultados del presente estudio, ser incluido en el entrenamiento para mejorar el rendimiento en los ciclistas altamente entrenados. Estos resultados coinciden con los resultados previos obtenidos en esquiadores de fondo (Hoff et al., 2002), corredores (Storen et al., 2008) y triatletas altamente entrenados (Millet et al., 2002). Los resultados del presente estudio indican que el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad puede mejorar la capacidad de pedalear a alta intensidad al final de una competencia prolongada y así podría mejorar el rendimiento en ciclismo. Este estudio está limitado por el hecho que los ciclistas altamente entrenados no fueron distribuidos al azar entre el grupo de intervención y el control. Además, sería interesante investigar los datos de activación muscular y del contenido de glucógeno intramuscular después del test de ciclismo submáximo de 185 min para explorar con más detalle el posible mecanismo que permitió mejorar el rendimiento al final del ejercicio prolongado.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los participantes por su tiempo y esfuerzo. Declaran que no poseen ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

1. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. J Appl Physiol (2002). 93: 1318-1326.
2. Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. Sports Med (2005). 35: 865-898.
3. Balabinis CP, Psarakis CH, Moukas M, Vassiliou MP, Behrakis PK. Early phase changes by concurrent endurance and strength training. J Strength Cond Res (2003). 17: 393-401.
4. Bassett DR Jr, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med Sci Sports Exerc (2000). 32: 70-84.
5. Bastiaans JJ, van Diemen AB, Veneberg T, Jeukendrup AE. The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. Eur J Appl Physiol (2001). 86: 79-84.
6. Behm DG, Sale DG. Velocity specificity of resistance training. Sports Med (1993). 15: 374-388.
7. Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. Eur J Appl Physiol (2000). 81: 418^127.
8. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, McEniery M, Carey MF. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. Med Sci Sports Exerc (1999). 31: 886-891.
9. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc (1982). 14: 377-381.
10. Brooker JP Cycling power: road and mountain. In: Burke ER, ed. High-tech cycling. Champaign: Human Kinetics, (2003). 147-174.
11. Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF, Beltz JD. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. Med Sci Sports Exerc (1992). 24: 782-788.
12. Crewe H, Tucker R, Noakes TD. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at

a fixed power output in different environmental conditions. Eur J Appl Physiol (2008). 103: 569-577.
13. Del Balso C, Cafarelli E. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. J Appl Physiol (2007). 103: 402-411.
14. Foss 0, Hallen J. Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. Int J Sports Med (2005). 26: 569-575.
15. Goldspink G, Harridge S. Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In: Komi PV, ed. Strength and power in sports. London: Blackwell Science Ltd, (2003). 231-251.
16. Hákkinen K, Pakarinen A, Alen M, Kauhanen H, Komi PV. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. J Appl Physiol (1988). 65: 2406-2412.
17. Hansen EA, Andersen JL, Nielsen JS, Sjogaard G. Muscle fibre type, efficiency, and mechanical optima affect freely chosen pedal rate during cycling. Acta Physiol Scand (2002). 176: 185-194.
18. Hansen EA, Jensen K, Pedersen PK. Performance following prolonged sub-maximal cycling at optimal versus freely chosen pedal rate. Eur J Appl Physiol (2006). 98: 227-233.
19. Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motorneurons. J Neurophysiol (1965). 28: 560-580.
20. Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, Kurowski TT, Foster C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. J Appl Physiol (1988). 65: 2285-2290.
21. Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. Scand J Med Sci Sports (2002). 12: 288-295.
22. Hoff J, Helgerud J, Wisloff U. Maximal strength training improves work economy in trained female cross country skiers. Med Sci Sports Exerc (1999). 31: 870-877.
23. Horowitz JF, Sidossis LS, Coyle EF. High efficiency of type I muscle fibers improves performance. Int J Sports Med (1994). 15: 152-157.
24. Horstman DH, Morgan WP, Cymerman A, Stokes J. Perception of effort during constant work to self-imposed exhaustion. Percept Mot Skills (1979). 48: 1111-1126.
25. Jeukendrup AE, Martin J. Improving cycling performance: how should we spend our time and money. Sports Med (2001). 31: 559-569.
26. Johnston RE, Quinn TJ, Kertzer R, Vroman NB. Strength training in female distance runners: impact on running economy. J Strength Cond Res (1997). 11: 224-229.
27. Krustrup P, Secher NH, Relu MU, Hellsten Y, Soderlund K, Bangsbo J. Neuromuscular blockade of slow twitch muscle fibres elevates muscle oxygen uptake and energy turnover during submaximal exercise in humans. J Physiol (2008). 586: 6037-6048.
28. Majerczak J, Szkutnik Z, Karasinski J, Duda K, Kolodziejski L, Zoladz JA. High content of MYHC II in vastus lateralis is accompanied by higher V02/ power output ratio during moderate intensity cycling performed both at low and at high pedalling rates. J Physiol Pharmacol (2006). 57: 199-215.
29. Millet GP, Jaouen B, Borrani F, Candau R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and V02 kinetics. Med Sci Sports Exerc (2002). 34: 1351-1359.
30. Lucia A, Hoyos J, Carvajal A, Chicharro JL. Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. Int J Sports Med (1999). 20: 167-172.
31. Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Earnest C, Chicharro JL. Tour de France versus Vuelta a España: which is harder? Med Sci Sports Exerc (2003). 35: 872-878.
32. McCarthy JP, Agre JC, Graf BK, Pozniak MA, Vailas AC. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. Med Sci Sports Exerc (1995). 27: 429-436.
33. Ronnestad BR. Acute effects of various whole body vibration frequencies on 1RM in trained and untrained subjects. J Strength Cond Res (2009). 23: 2068-2072.
34. Storen O, Helgerud J, Stoa EM, Hoff J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. Med Sci Sports Exerc (2008). 40: 1087-1092.
35. Weiss LW, Coney HD, Clark FC. Differential functional adaptations to short term low-, moderate-, and high-repetition weight training. J Strength Cond Res (1999). 13: 236-241.

Cita Original

B. R. Rønnestad, E. A. Hansen and T. Raastad. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. Scand J Med Sci Sports: 21: 250-259, 2011.